COUSTEAU


ENCICLOPEDIA DEL MAR

18



folio





COUSTEAU

ENCICLOPEDIA DEL MAR

18

COUSTEAU
ENCICLOPEDIA DEL MAR

18

folio

SUMARIO

Dirección editorial: Julián Viñuales Solé

Asesores científicos: Serge Bertino, Rhodes W.Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

Traducción: Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

Coordinación editorial: Julián Viñuales Lorenzo

Coordinación técnica: Pilar Mora

Coordinación de producción: Miguel Angel Roig

Diseño cubierta: STV Disseny

Publicado por :
Ediciones Folio, S.A.
Muntaner, 371-373
08021 Barcelona


De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmenes titulada genéricamente *Los Secretos del Mar.*

Distribución exclusiva para España y América:
Editorial Rombo, S.A.

ISBN: 84-7583-511-2 (Volumen 18)
84-7583-530-9 (Obra completa)

Impresión: Printer, Industria Gráfica, S.A.

Depósito Legal: B-30726-1993
Printed in Spain



Petróleo y gas natural

Yacimientos petrolíferos en alta mar





HACE tiempo que los hombres utilizan el petróleo y el gas natural para obtener calor y luz. Sin embargo, los hidrocarburos se han hecho imprescindibles para nuestra energía tan sólo a partir del año 1850.

Los yacimientos de hidrocarburos situados en tierra firme son los más fáciles de explotar. Sin embargo, hay tal demanda de estos productos, sobre todo a partir de los grandes cambios petrolíferos de los años setenta, que los prospectores ya no desprecian ninguna posibilidad. Es por esta razón que interesa cada vez más el petróleo del mar, el petróleo *offshore*.

Por el momento, todavía se explotan sólo los yacimientos situados en la plataforma continental. Pero existen ya, sin embargo, proyectos para extraer los hidrocarburos a profundidades muy superiores, de 1.000 a 2.000 metros bajo la superficie. Las primeras explotaciones petrolíferas en el mar empezaron hace más de cuarenta años, en especial en la costa de Texas, en el mar Caspio (Bakú), en Venezuela (Maracaibo), en el golfo Pérsico, etc. En los años que acaban de transcurrir se han descubierto y puesto en explotación nuevas localizaciones importantes: se trata especialmente del mar del Norte, de las regiones orientales de México, de las de Canadá, de las de Indonesia, del Vietnam y de China, y de las de Nigeria y del Gabón.

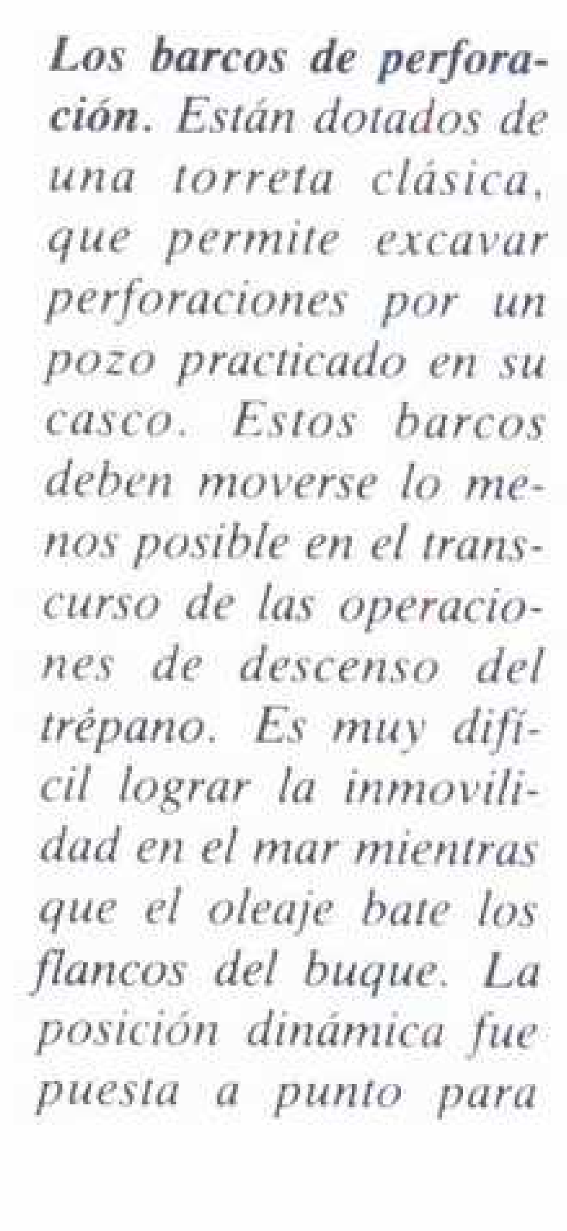


Se sabe desde hace tiempo que existe petróleo bajo el mar. La mayor dificultad consiste en diseñar el complejo (y caro) material necesario para localizar los pozos con precisión y explotarlos posteriormente.
Los geofísicos empiezan por realizar toda una serie de muestreos submarinos (sísmicos, magnéticos, etc.). Determinan las regiones geológicas más susceptibles de albergar hidrocarburos. Después han de encontrar la roca madre y realizar para ello muestreos. Es una fase delicada que requiere la presencia de barcos especiales, dotados con propulsores múltiples que permiten lo que se llama posición dinámica. Los ordenadores han mejorado la precisión de estas perforaciones.
Por último, hay que explotar los pozos productivos y construir para ello enormes plataformas fijas o flotantes. Esta difícil tecnología ha tenido un rapidísimo desarrollo.
Hace veinte años, la proporción *offshore* en la producción total de petróleo y de gas era casi despreciable. Actualmente alcanza el 25 por 100, es decir, una cuarta parte del total. Todos los expertos están de acuerdo en afirmar que aumentará sin cesar. Los grandes descubrimientos de yacimientos en tierra firme están prácticamente acabados. No ocurre lo mismo en el mar.

Una valiosa fuente energética. *La proporción de petróleo extraído en alta mar no cesa de aumentar: equivale actualmente al 25 por 100 del conjunto. Una industria está en pleno desarrollo: la de las plataformas de perforación y de explotación (página de la izquierda), la de los petroleros gigantes (a la izquierda), la de las refinerías de «pie en el agua» (abajo).*

Las perforaciones en el mar

Las perforaciones en el mar plantean problemas mucho más difícilmente solucionables que los de tierra firme. No sólo hay que excavar el suelo, lo que resulta siempre delicado (existen zonas de rocas duras y de rocas tiernas que no someten a los trépanos y a los tubos a las mismas fuerzas), sino que hay que hacerlo desde la superficie, es decir, desde la zona más movida del mar, un lugar que las tempestades y los huracanes convierten a veces en peligroso.
Existen tres tipos principales de estructuras gracias a las cuales se puede perforar en alta mar: las plataformas fijas, las plataformas flotantes o semiflotantes y los buques de posición dinámica.
Las plataformas fijas fueron las primeras en ser utilizadas.
Consisten en un poderoso armazón de cemento y metal que se lleva a su posición en barcos y que se monta amarrándolo al suelo del mar. La mayoría de las veces se utilizan elementos prefabricados para reducir al máximo los trabajos a realizar en el medio oceánico. Las plataformas de este tipo se anclan sólidamente en el substrato rocoso. Se construye un piso de trabajo por encima del nivel de las mayores mareas y de las olas más grandes. Este conjunto soporta una torreta de perforación. La solidez ha de ser considerable, ya que toda esta estructura está sometida diariamente a los golpes del mar.
Las plataformas fijas sólo son posibles en profundidades que no alcancen los 300 metros.
Las plataformas semisumergibles y las plataformas flotantes son convenientes a mayores profundidades. Están, al igual que las precedentes, constituidas de una gigantesca estructura de metal y de cemento. Pero no se encuentran sujetas al fondo, sino dotadas de flotadores. Se las construye cerca de las costas, en los fiordos bastante profundos (en Noruega, el fiordo de Stavanger ha permitido el ensamblado de la mayoría de las plataformas de este tipo que operan en el mar del Norte). El equilibrio de estos monstruos es un punto capital. Está asegurado por boyas proporcionadas en la base del sistema, generalmente en número de cuatro o cinco. Por supuesto, las plataformas semisumergibles o flotantes son mantenidas encima de la zona de perforación (para evitar su deriva) por potentísimos anclajes.
Los buques de posición dinámica no sirven para la explotación de los yacimientos seguros de hidrocarburos, como las plataformas fijas, semisumergibles o flotantes, sino para la localización de los yacimientos. El prototipo fue el *Glomar-Challenger* americano, que realizó durante años un inmenso programa de perforaciones profundas (Deep Sea Drilling Project), gracias al cual nuestro conocimiento del fondo marino ha avanzado a pasos de gigante. Los barcos de este tipo resultan carísimos, al ser muy sofisticados. Sin embargo, varios países cuentan con ellos actualmente (Estados Unidos, Francia, Japón, etc.). Estos navíos se caracterizan por su sistema de propulsión múltiple: disponen, además de las habituales hélices de popa, de varios otros propulsores en la proa, en los costados, etc. Estas hélices secundarias son controladas por un ordenador central que las pone en marcha en función de las necesidades de la estabilización del barco.



Los barcos de perforación. *Están dotados de una torreta clásica, que permite excavar perforaciones por un pozo practicado en su casco. Estos barcos deben moverse lo menos posible en el transcurso de las operaciones de descenso del trépano. Es muy difícil lograr la inmovilidad en el mar mientras que el oleaje bate los flancos del buque. La posición dinámica fue puesta a punto para resolver este problema: una serie de hélices estabilizadoras, controladas por ordenador, permite compensar instantáneamente la deriva del barco. Actualmente, las perforaciones en el mar ya no se limitan a la plataforma continental. Los especialistas saben realizarlas en varios centenares de metros de agua y atravesar posteriormente varios miles de metros de sedimentos.*



En estos últimos años, las perforaciones petrolíferas en alta mar han realizado progresos considerables. Hace algún tiempo se estaba satisfecho cuando, atravesando una capa de agua de unas pocas decenas de metros, se conseguía una perforación de unos cientos de metros de profundidad. Actualmente se perfora a través de más de 2.000 metros de agua, y se realizan excavaciones de una profundidad aún mayor en los sedimentos del fondo. Los récords son batidos continuamente. Se perfora en la actualidad más de 5.000 metros de substrato oceánico. Las presiones a las que se somete el material de sondeo son enormes, y la precisión de la colocación de los tubos, sorprendente. Por supuesto, todo esto tiene un precio: la utilización de materiales tan resistentes cuesta fortunas, que sólo justifica el precio actual de los hidrocarburos.

Se calcula que una perforación de este tipo cuesta entre nueve y 18 millones de pesetas diarias. Cada minuto cuenta.

Si la perforación de reconocimiento es prometedora, se realizan más para determinar con la mayor exactitud posible la cantidad de reservas locales de hidrocarburos. Si esta evaluación es también satisfactoria se pasa a la fase de producción propiamente dicha. Se pueden instalar varias plataformas fijas, semisumergibles o flotantes, según sea la profundidad.


El trabajo a bordo de las plataformas de perforación en alta mar es agotador. Los hombres, técnicos y obreros, deben rentabilizar al máximo las instalaciones, es decir, realizan jornadas muy largas. Actualmente gozan de un cierto confort en sus islas artificiales (cine, etc.).

La cuestión de la seguridad de las plataformas es obsesiva para los ingenieros. Estas gigantescas estructuras, cuyo peso equivale varias veces al de la torre Eiffel, deben resistir condiciones del mar a veces

Las plataformas. Existen varios tipos de plataformas de trabajo offshore. *Algunas son fijadas al fondo del mar: sirven para la búsqueda de hidrocarburos (abajo), o bien para su explotación. Otras son semisumergibles o flotantes. La del esquema de la derecha es semisumergible. Está compuesta por varios pilares, que descansan sobre flotadores, y de una superficie de trabajo. Los flotadores están calculados para equilibrar el conjunto, y se hallan sujetos al fondo por anclas colosales.*




Scarabeo 3
UNIT





Islas flotantes. *Las plataformas semisumergibles tienen considerables dimensiones, que las hacen a menudo comparables a islas. La que presentamos en esta doble página es italiana: la* Scarabeo 3. *Puede operar en los mares subárticos a profundidades superiores a los 300 metros. De forma triangular, con tres pilares colosales de un diámetro de 12 metros, tiene una altura de 114 metros. En ella se encuentran todas las comodidades que permiten la vida de ochenta personas. El conjunto puede resistir olas de 30 metros de altura y vientos de 180 kilómetros por hora.*

Arriba: la plataforma Scarabeo 3 *todavía anclada en su lugar de construcción en tierra. Página de la izquierda: la misma plataforma en plena actividad en la región de explotación.*

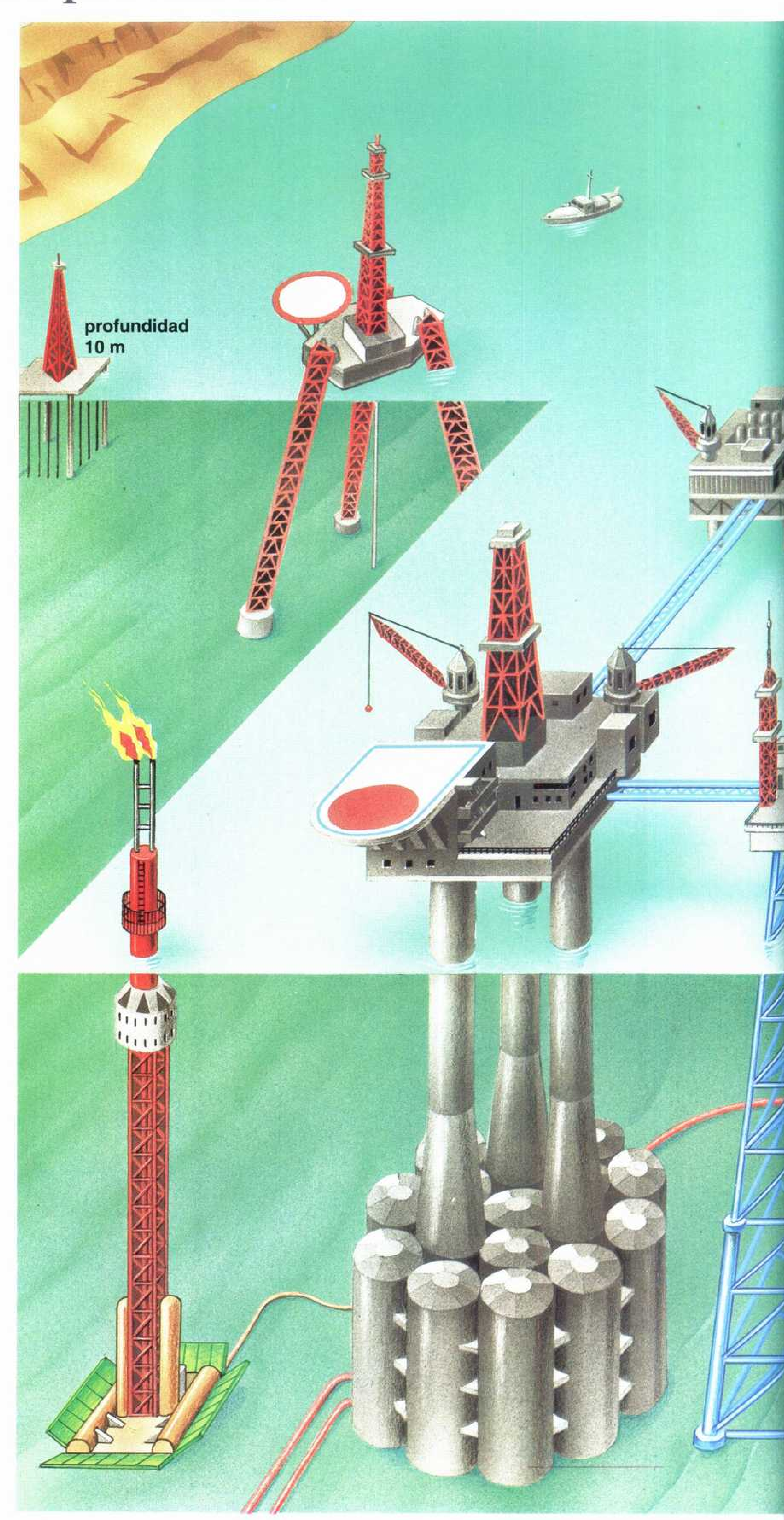
terribles. El oleaje las somete a fuerzas mecánicas de las que pueden sufrir a la larga. El agua de mar, muy corrosiva, ataca los pilares que sostienen el conjunto. Hay que tener también en cuenta la famosa «ola del siglo» que se produce a veces cuando se conjugan varias fuerzas levantando el agua. Hay que pensar en los terremotos, en los tsunamis, etc.

Las diferentes partes de la plataforma son inspeccionadas con regularidad por los buceadores, así como por robots (cámaras de televisión teledirigidas, etc.). Las imposiciones del mar varían evidentemente según las condiciones climáticas locales: las plataformas de los mares tranquilos (golfo Pérsico, etc.) sufren menos que las de los mares bravos, a la cabeza de los cuales hay que situar el mar del Norte. Fue, por cierto, en este mar donde se produjo la mayor catástrofe que haya afectado jamás a una plataforma de perforación: la colosal plataforma noruega Alexander-Kieland volcó por razones aún desconocidas, y más de ciento cincuenta obreros y técnicos perecieron en el accidente.

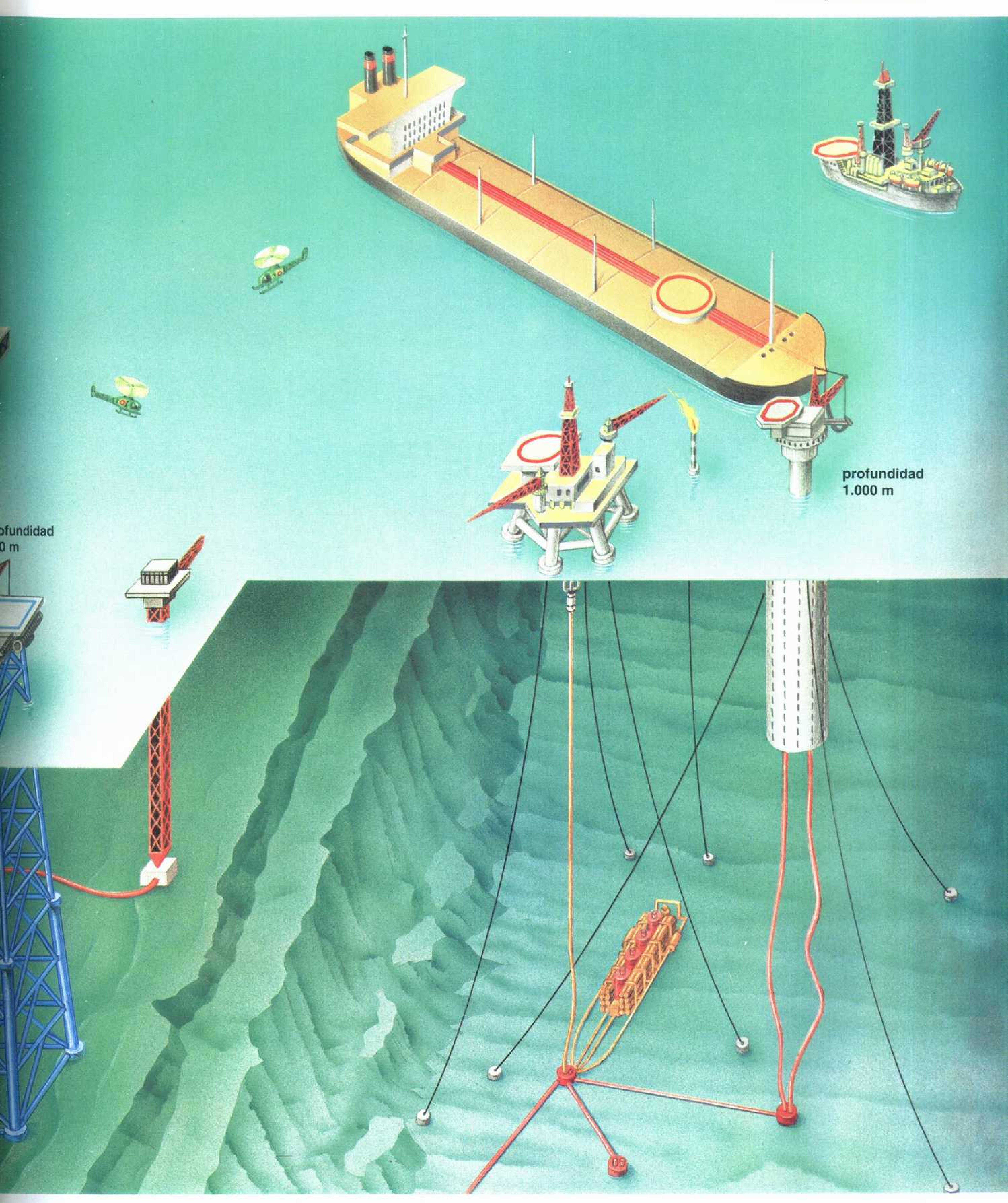
Por otra parte, las plataformas petrolíferas constituyen un riesgo para los barcos, que podrían chocar contra ellas. Los más expuestos a estos accidentes son los pesqueros, que no siguen una ruta bien definida y que tienen la necesidad de trabajar sean cuales sean las condiciones meteorológicas del momento, incluso con niebla y tempestades.

Las plataformas de producción

DESPUÉS de la fase de búsqueda, empieza la de explotación propiamente dicha. Como ya hemos mencionado, las plataformas de producción son de dos grandes tipos: semisumergibles y flotantes.
Entre las más utilizadas hay que citar las estructuras hechas con vigas de acero prefabricadas y soldadas. La mayor plataforma de este tipo es la *Cognac,* anclada en el golfo de México. Está instalada sobre 312 metros de agua, y ha sido ensamblada a partir de tres conjuntos prefabricados. Ninguna plataforma de estas características está diseñada para profundidades superiores a los 400 metros. A 150 metros se sobrepasa prácticamente el límite en aguas como la del mar del Norte, que son más coléricas que las del golfo de México.
Algunas plataformas son denominadas «de gravedad»; como su nombre indica, son mantenidas en su posición por su propia masa. Están compuestas de enormes cimientos de cemento, en los que van fijadas superestructuras de vigas de acero. Muy a menudo se colocan en la base de estas plataformas depósitos capaces de almacenar el petróleo, alguno de los cuales permiten guardar unas 150.000 T de petróleo.
Sean cuales sean, las plataformas de producción están calculadas para durar tanto como el yacimiento. No más. En efecto, es prácticamente imposible desmontarlas para recuperarlas y volver a utilizar el material. Una vez que han cumplido su misión son hundidas (para no alterar la navegación de la región). Para que el negocio resulte rentable, hay que gastar en su construcción todo el dinero necesario para su buen funcionamiento y la seguridad de los hombres que trabajen en ella, pero no más.
Las grandes plataformas modernas van provistas de todo el equipo necesario. Suministradas por helicópteros, dotadas de radares, de sonares, etc., y de todos los aparatos modernos de teledetección y de recepción, se convierten en verdaderas is-



Profundidades cada vez mayores. *Las primeras perforaciones en el mar fueron realizadas en Estados Unidos, en 1894, cerca de las costas de California. El gran* boom *del* offshore *data de los años sesenta. En esa época, las torretas surgieron a docenas en el golfo Pérsico, en el mar Caspio, en el mar del Norte, etc. El esquema de esta doble página ilustra esa evolución: a la izquierda, los primeros pozos* offshore*; en el centro, la tecnología actual; a la derecha, las explotaciones muy profundas (1.000 metros y aun más) son todavía proyectos para el futuro y además plantean difíciles problemas de seguridad.*


profundidad
1.000 m
ofundidad
0 m

las tecnológicas; gracias a ellas se pueden realizar no sólo perforaciones verticales, sino incluso oblicuas (esta reciente tecnología es muy interesante para explotar los yacimientos en vías de agotamiento y acabar de extraer todo el petróleo posible). Una gran plataforma como la *Cognac* está provista de no menos de 62 «ventanas» útiles por las que se pueden perforar 62 pozos diferentes. Existen plataformas con más de 80 ventanas.

Se realizan cada vez más perforaciones extremadamente profundas, bajo más de 400 ó 500 metros de agua, y que descienden a más de 2.000 metros en el zócalo rocoso. Investigaciones de este tipo, y sobre todo la explotación industrial de pozos tan profundos, necesitan, como resulta evidente, plataformas particularmente fiables. No es posible utilizar para estas perforaciones ultraprofundas plataformas fijas, ni incluso plataformas semisumergibles. Se emplean plataformas flotantes. Una de las soluciones imaginadas más corrientemente en este campo es la plataforma flotante anclada al fondo mediante gigantescos cables de tensión. Las fuerzas

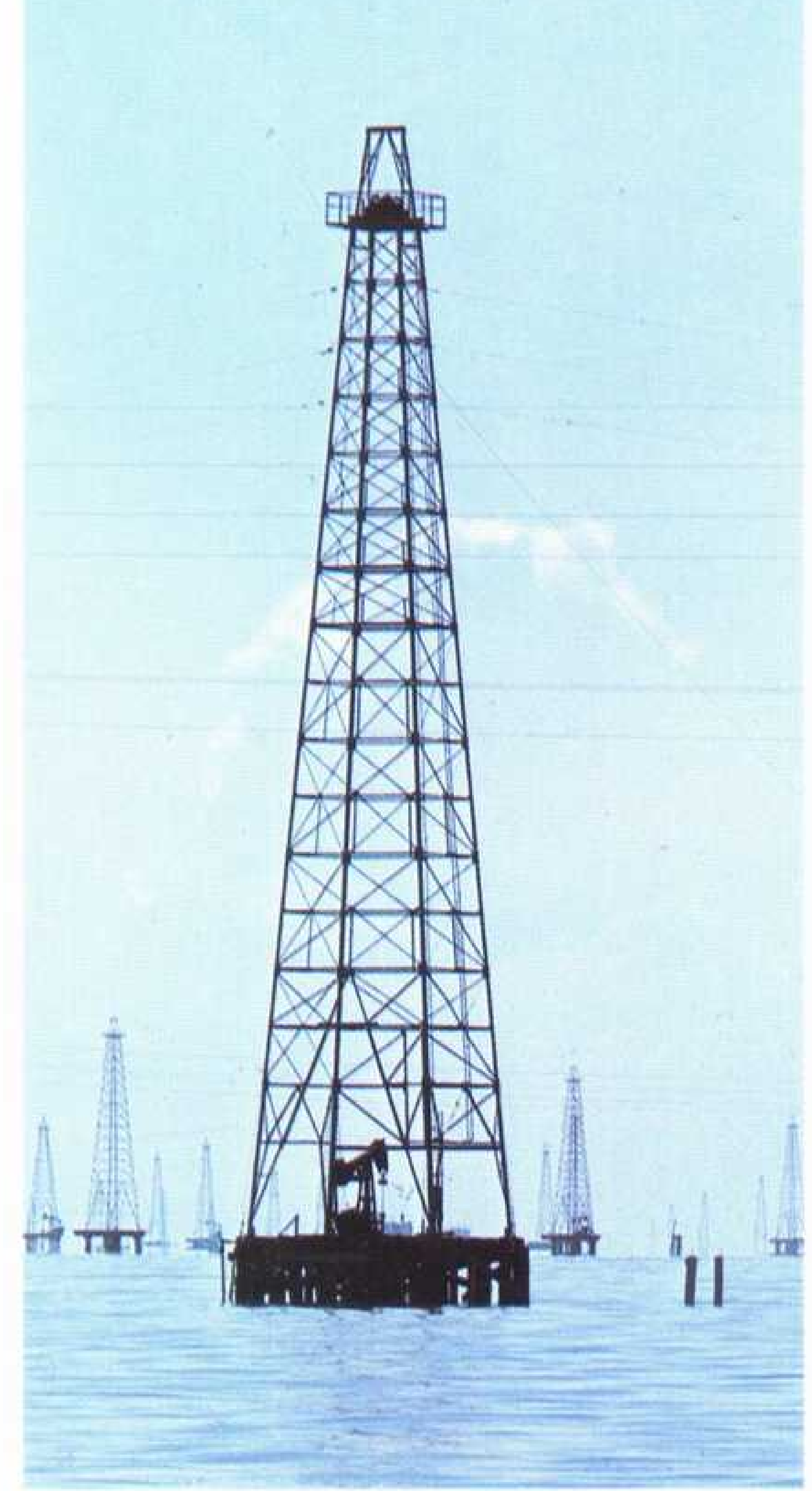




Las plataformas de producción. *Si las aguas son muy poco profundas o muy tranquilas se pueden utilizar plataformas someras, como en el lago de Maracaibo, en Venezuela (página de la derecha, abajo). Cuando se está cerca de la costa se puede construir una verdadera isla artificial, como se hizo en Santa Bárbara, en California (página de la derecha, arriba). Cuando las condiciones del mar son muy duras, como en el mar del Norte, hay que recurrir a la utilización de enormes plataformas fijas, semisumergibles o flotantes (en esta página). El petróleo o el gas natural extraídos son transportados en oleoductos o gasoductos hasta una terminal de carga para los petroleros.*

ejercidas por el oleaje, y sobre todo por las tempestades sobre edificios de este tipo, pueden ser rápidamente inquietantes. Los petroleros tienen prisa por ir a buscar los hidrocarburos allí donde se encuentran, por muy profundo que haya que descender, siempre que la operación sea rentable. Los defensores del medio ambiente no ven los sondeos profundos con buenos ojos. La reciente catástrofe que afectó a la plataforma mexicana *Ixtoc I,* en el golfo de México, como consecuencia de la cual cientos de miles de toneladas de petróleo se vertieron en el mar, demuestra que los accidentes siguen siendo posibles, y que cuando ocurren, el hombre tiene grandes dificultades para dominarlos. La cabeza del pozo petrolífero del *Ixtoc I* estaba situada a unas pocas decenas de metros bajo la superficie, y se tardaron semanas en obstruirla para cortar la fuga.

¿Qué ocurriría si sucediese un accidente similar a varios centenares de metros de profundidad? ¿Cómo haríamos para tapar el pozo? Los petroleros no tienen ni la más mínima idea de ello. Hasta unos 100 ó 150 metros de profundidad, los hombres dotados de esacafandras pueden intervenir directamente. Es por completo hipotético a mayor profundidad. A 500, 600, 1.000 ó 2.000 metros ya nadie puede hacer nada. Se habla de robots, pero no resultarán operativos de aquí a muchos años. ¿Serían fiables? ¡Nada es menos seguro!



El petróleo es una de las principales fuentes de riqueza del mundo, y su precio en el mercado justifica que se hagan grandes esfuerzos para conseguirlo allí donde exista. Pero no hay que olvidar que las mareas negras son peligrosas para el medio ambiente. La fiebre del oro negro no debería justificar cualquier empresa azarosa.

Se habla mucho en la actualidad de estaciones de explotación *offshore* situadas no en la superficie, donde las plataformas están sometidas a los más penosos esfuerzos, sino en el fondo del agua. Es seguramente una solución para el mañana. Permitiría eliminar todos los defectos de seguridad inherentes a las plataformas emergidas.

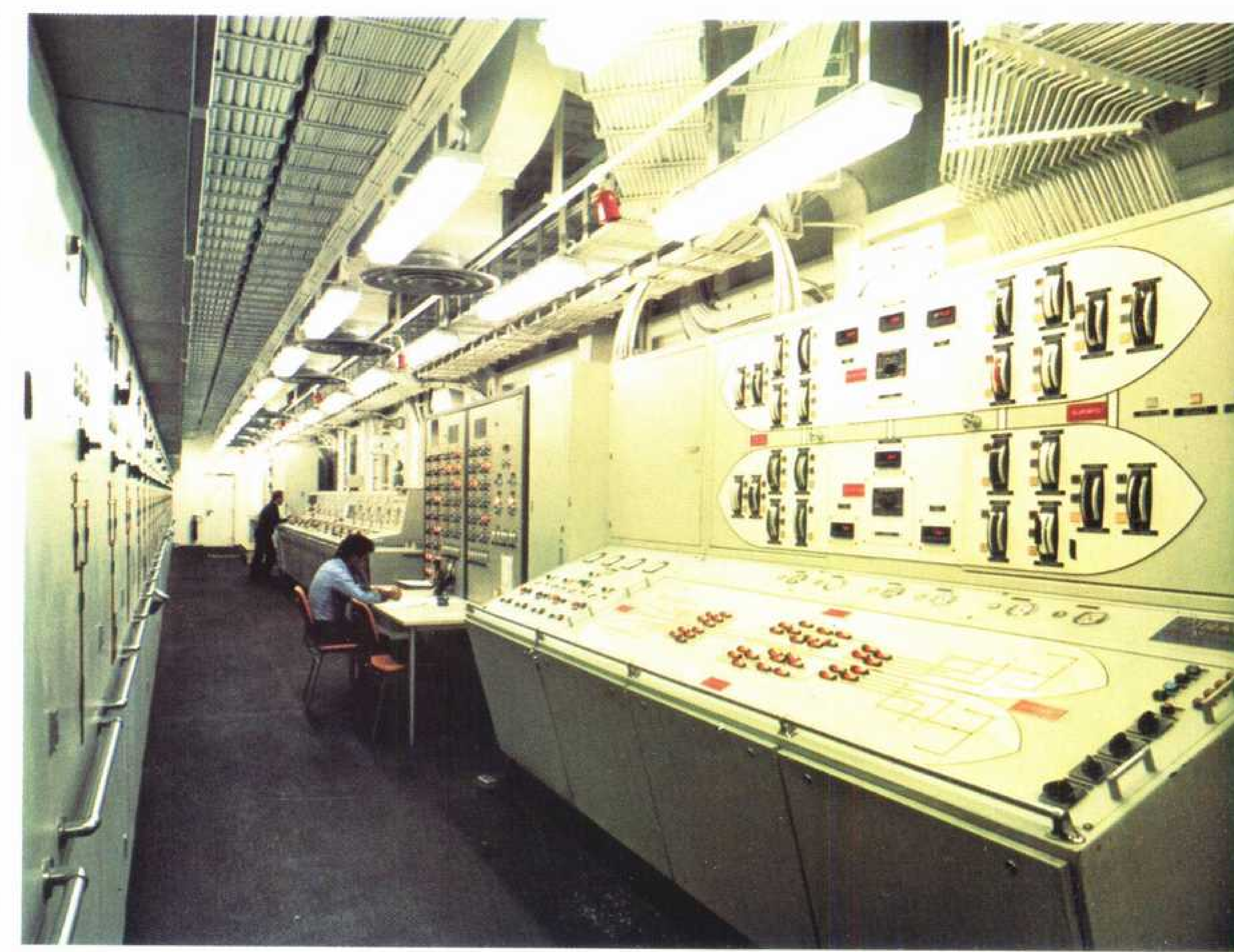
El transporte de los hidrocarburos

El transporte de los hidrocarburos, ya sean líquidos (petróleo) o gaseosos (gas natural), plantea problemas específicos, tanto de orden técnico como ecológico. La explotación de los yacimientos *offshore* ha complicado aún más las cosas a los ingenieros. El mar es un medio inestable y corrosivo: puede destruir y hundir a los barcos transportadores, o degradar poco a poco, insidiosamente, los oleoductos y los gasoductos.

Los oleoductos y los gasoductos submarinos fueron puestos a punto antes de la explotación de los hidrocarburos *offshore*. Se necesitaban estos tubos para conducir los productos petrolíferos a través de algunos brazos de mar, o sencillamente para llevarlos desde los puntos de producción a los barcos de transporte, o de estos últimos a las refinerías.

Los oleoductos y los gasoductos son construidos sección por sección en tierra firme, y sumergidos gracias a barcos especializados, que aseguran su correcta colocación después de haber sondeado minuciosamente los fondos (los conductos no han de estar mal apoyados, ya que podrían romperse).

Los barcos de construcción de oleoductos intervienen en la explotación de los yacimientos de hidrocarburos *offshore*. Algunos de ellos, muy perfeccionados, son autónomos: poseen todo el material de soldadura necesario, transportan la totalidad de tubería que necesitan y la su-



Altas tecnologías. *Las tecnologías utilizadas para la explotación petrolífera* offshore *son costosas y sofisticadas. Las salas de control de las plataformas de explotación (arriba) se asemejan a las de las centrales nucleares o de las bases espaciales. Los riesgos son demasiado grandes tanto para los hombres que trabajan en la plataforma como para el medio ambiente (mareas negras). La fotografía de arriba muestra la plataforma móvil* Castoro 6, *que ha servido para la colocación del oleoducto submarino que une Túnez a Europa, y que atraviesa sucesivamente el estrecho de Sicilia (a 608 metros bajo el nivel del mar) y el estrecho de Mesina (a 370 metros de profundidad).*







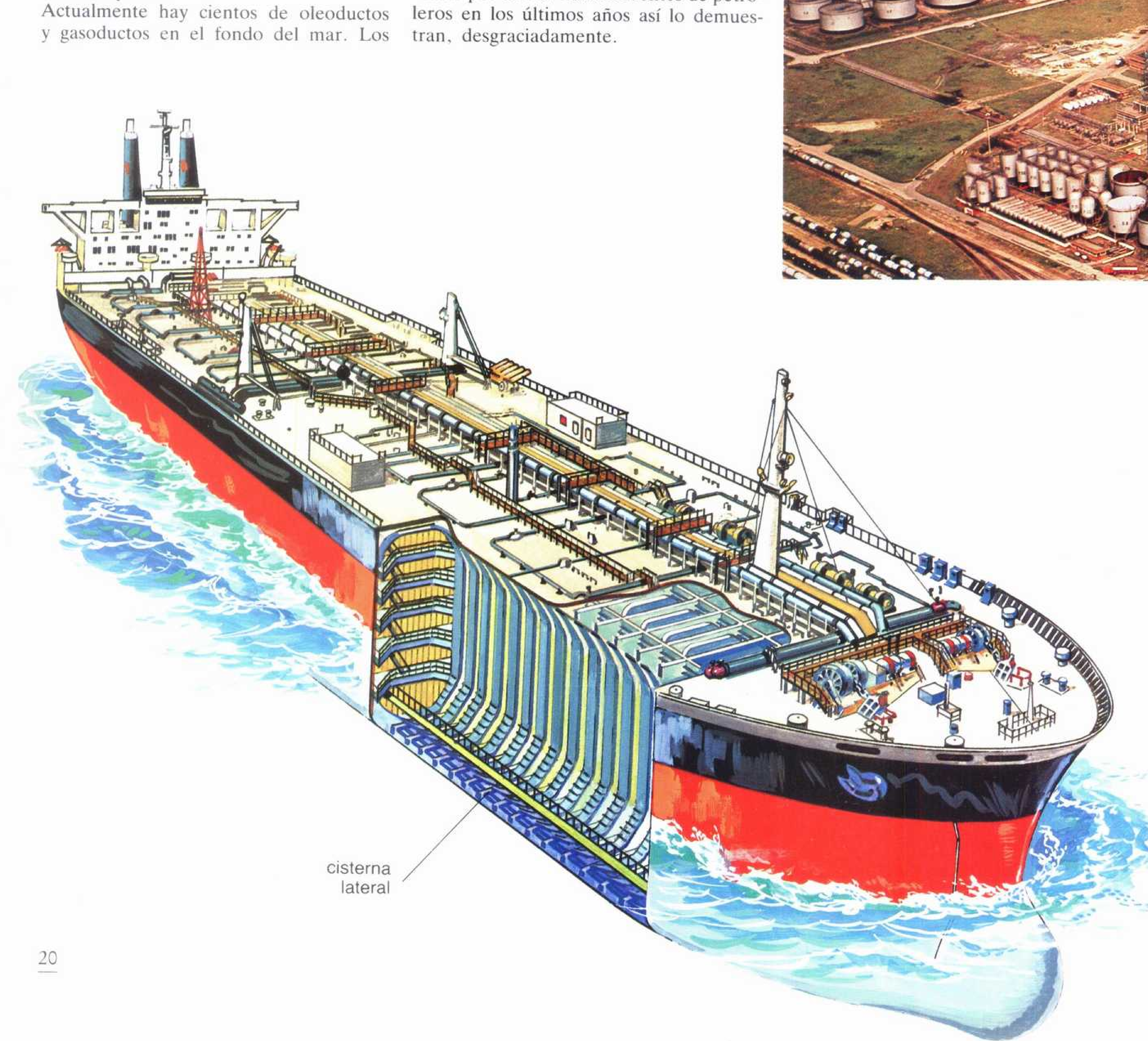
La instalación de los oleoductos y de los gasoductos. *Los navíos y las barcazas encargados de la instalación de los oleoductos y de los gasoductos están concebidos especialmente para esta tarea. Se sondean los fondos con mucha precisión para tener una buena idea de su configuración. Se intenta hacer pasar las tuberías por zonas llanas o con poca pendiente, y en las que las corrientes del fondo son débiles o inexistentes. A veces, cuando la profundidad no es grande, se puede mandar a los buceadores a trabajar al fondo (arriba). Abajo: un oleoducto en un campo de posidonias.*



mergen a medida que avanzan. Están dotados de una especie de gran brazo articulado, llamado «brazo de colocación», gracias al que pueden hacer descender los tubos hacia el fondo y dejarlos sobre el substrato en las mejores condiciones. Los barcos constructores de oleoductos avanzan cuando están trabajando a una velocidad extremadamente reducida, a unos 1.500 metros al día. Para evitar la deriva provocada por las corrientes y las olas, han de ir de anclaje en anclaje. Esta sucesión de maniobras es fastidiosa pero indispensable. Se han puesto recientemente a punto nuevos buques que se benefician de la tecnología de la posición dinámica: adquieren condiciones de estabilidad muy superiores a las que tenían sus predecesores. Gracias a su colaboración, es posible colocar tres kilómetros de tuberías a la hora.

Cuando se trata de sumergir oleoductos en las regiones muy profundas del mar hay que arriesgarse a menudo acerca de la estabilidad del terreno. Si es posible, se hace una especie de trinchera muy

regular en la que se deposita el conducto. Pero en la mayoría de las ocasiones, esta manera de actuar no es factible. La principal regla de seguridad consiste entonces en escoger mediante sondeos apropiados fondos sedimentarios llanos, desprovistos de accidentes y geológicamente estables. En las zonas poco profundas pero surcadas por los pesqueros, como en el caso del mar del Norte, los oleoductos son cubiertos sistemáticamente con tierra para evitar que las redes se líen en ellos (lo que sería perjudicial tanto para las redes como para los conductos petrolíferos). Cuando se conocen muy bien los fondos se intenta colocar los oleoductos en los valles submarinos; así se hizo en el estrecho de Mesina, que alcanza 370 metros de profundidad y por el que pasan tres oleoductos; en este caso, la colocación de las tuberías fue asistida por un pequeño sumergible que dirigió el trabajo del barco de superficie.
Actualmente hay cientos de oleoductos y gasoductos en el fondo del mar. Los hay entre los pozos en tierra y las terminales a las que vienen a abastecerse los grandes petroleros, los hay entre los países productores y consumidores (ocurre sobre todo con los gasoductos: varios atraviesan el Mediterráneo, especialmente entre Túnez y Sicilia; existen proyectos de otros en este mismo mar, en especial bajo Gibraltar). También hay oleoductos y gasoductos entre los pozos *offshore* y las costas vecinas (por ejemplo, entre las plataformas británicas del mar del Norte y las costas de Escocia).
De forma general, esta tecnología está a punto. Los accidentes son escasos. De cualquier manera, cuando una tubería tiene un escape los responsables de las estaciones de bombeo lo observan rápidamente y cortan el flujo de petróleo o de gas. La contaminación y las pérdidas están limitadas al mínimo. No se puede decir lo mismo cuando el transporte es realizado por barco. Los accidentes de petroleros en los últimos años así lo demuestran, desgraciadamente.



Petroleros y metaneros. *El transporte marítimo de los hidrocarburos ha necesitado la construcción de barcos cada vez más sofisticados. Los petroleros han evolucionado hacia el gigantismo: los construidos más recientemente sobrepasan las 600.000 toneladas. Sin embargo, desde la crisis petrolera de los años 1973-1974, el consumo se ha estabilizado, y varios de estos gigantes, apenas construidos, han sido enviados al desguace... Los petroleros modernos, de una eslora de más de 300 metros, poseen cisternas divididas en compartimientos para limitar los riesgos de marea negra en caso de accidente (dibujo de la página de la izquierda). Atracan en puertos de aguas muy profundas, como el de Dunkerque (a la izquierda). Los metaneros transportan gas natural previamente licuado, y deben estar dotados de cisternas aisladas.*

cisternas
de poliestireno

Los riesgos de contaminación

LAS contaminaciones por hidrocarburos han dado mucho que hablar. Todo el mundo tiene en mente la serie de grandes mareas negras que han afectado durante estos últimos años a California, Africa del Sur, el golfo de México, el golfo Pérsico, etc. ¿Quién no recuerda sobre todo los desastres que asolaron Bretaña desde 1976 (fecha en la que el *Torrey Canyon* se partió en dos frente a la Cornualles inglesa) a 1981? Los nombres del *Gino*, del *Tanio*, del *Bohlen*, del *Olympic Bravery* y sobre todo del *Amoco-Cádiz* permanecen en las memorias.

La mayor marea negra producida al encallar un petrolero gigante fue la del *Amoco-Cádiz:* más de 300.000 toneladas de petróleo se vertieron en el canal de la Mancha, y la casi totalidad de las costas del norte de Bretaña resultaron contaminadas. No es, sin embargo, la mayor marea negra de la historia: la que siguió a la ruptura de la cabeza del pozo petrolífero *Ixtoc I*, en el golfo de México, en 1979, provocó un mayor vertido de hidrocarburos al mar; la fuga fue colmada después que lanzara su petróleo al mar durante diez meses. Algunas mareas han sido poco importantes en cuanto a tonelaje, pero los productos vertidos eran muy tóxicos; desde este punto de vista, la del *Tanio* fue terrible: las sustancias introducidas en el mar eran hidrocarburos pesados, muy ricos en benzopirenos cancerígenos.

Es interesante calcular los porcentajes de contaminación por hidrocarburos debidos a las diferentes fuentes de estos productos. Menos del 1 por 100 del petróleo que entra en el mar procede de las perforaciones *offshore*, a pesar de los accidentes del *Ixtoc I* o de la ruptura (por acción de guerra) de la cabeza de un pozo iraquí en el golfo Pérsico (en el momento en que escribo, este escape aún no ha sido cortado, ya que los iraníes y los iraquíes siguen luchando entre sí).

Existe una contaminación natural del mar por hidrocarburos: estos se escapan de los yacimientos submarinos por fisuras. Pero la mayor parte de la contaminación total (al menos el 60 por 100) se debe a las aportaciones de los ríos: residuos de fuel doméstico, de aceites lubrificantes, etc., que acaban en el mar.

Otras causas esenciales de contaminación están constituidas por la desgasificación de los barcos en el mar y por los desechos de las motoras deportivas. La desgasificación de los petroleros está prohibida en un gran número de regiones del océano, pero las autoridades internacionales encuentran grandes dificultades para hacer respetar la reglamentación a los capitanes, a su vez presionados por los armadores para que limpien sus tanques con el menor gasto posible. Existen en algunos puertos instalaciones de desgasificación perfectamente concebidas, pero siguen siendo demasiado escasas.



Las mareas negras. *El ave cubierta de petróleo es un símbolo: el de la imprudencia de los hombres. Hay que duplicar los aparatos de navegación de los petroleros, y obligar a estos barcos a seguir rutas tan estrictamente definidas como las de los aviones.*

La cuestión de los pabellones de complacencia resulta crucial al hablar de contaminación por hidrocarburos. No sólo porque este tipo de barcos es el que realiza la desgasificación más a menudo en el mar, sino porque estos buques son los que sufren un mayor número de accidentes. Son mandados por capitanes que no tienen siempre los conocimientos indispensables. Sus tripulaciones, mal pagadas e insuficientes en cuanto a número, no pueden garantizar la seguridad, y sus equipos son especialmente mediocres.

Los efectos de la contaminación por hidrocarburos sobre el medio marino varían. En un primer momento, la capa de petróleo oscurece la superficie y bloquea o perturba la fotosíntesis. Toda la cadena alimentaria marina sufre por ello. Los hidrocarburos son directamente tóxicos para un gran número de plantas y de animales marinos: allí donde su concentración alcanza un determinado nivel, cualquier tipo de vida desaparece (pero no todos los petróleos resultan igualmente peligrosos, ya que no tienen la misma composición).

Las especies que sufren más y más rápidamente las mareas negras son las aves buceadoras. Alcatraces, cormoranes, frailecillos, pingüinos, alcas, pelícanos, etc., mueren en gran número. Su plumaje cubierto de petróleo les impide volar y ya no les protege del frío. Cuando lo limpian con el pico absorben hidrocarburos que les envenenan. Durante las grandes mareas negras de Bretaña asistimos a verdaderas hecatombes en estas aves. Las que no bucean para buscar su alimento, como las gaviotas argénteas, se ven mucho menos afectadas; por desgracia se trata también de aves que tienen tendencia a proliferar a expensas de las otras.

Algunos animales parecen temer muy poco al petróleo, pero no se sabe lo suficiente sobre esta cuestión para afirmarlo de forma definitiva. Se ha observado, por ejemplo, que una especie de cangrejo era muy sensible a los hidrocarburos y moría masivamente durante las mareas negras, mientras que otra especie cercana, si no era englobada en el propio petróleo (y asfixiada), mostraba tendencia a proliferar una vez pasada la alerta.

En los lugares en los que se acumulan los hidrocarburos (por ejemplo, en el fondo de las rías bretonas) permanecen mucho tiempo y esterilizan el medio durante decenios. Allí donde se dispersan son bastante fácil y rápidamente reciclados por bacterias, y pueden comportarse, para algunas especies y de cierta manera, como abonos. ¡Pero esta constatación no puede hacernos desear, evidentemente, que se reproduzcan catástrofes como la del *Amoco-Cádiz!*



Las grandes centrales maremotrices

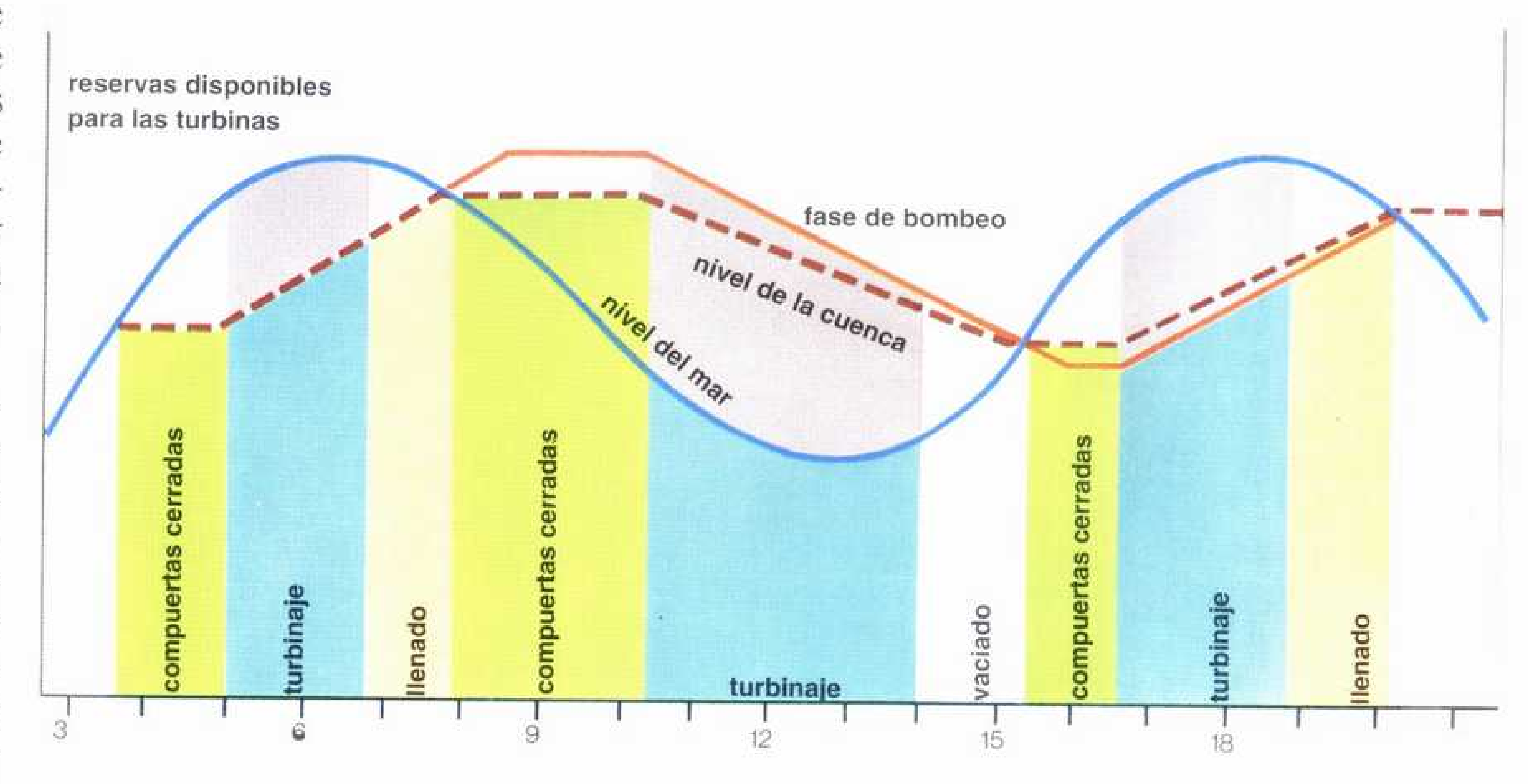
La energía de las mareas

NADIE ignora, sobre todo después de Isaac Newton, que la atracción de la Luna (y ocasionalmente la del Sol) es el origen de las mareas. Estas ondas de gran amplitud poseen una energía gigantesca. Si el hombre pudiera recuperar aunque sólo fuera una parte, tendría a su disposición una fuente de energía colosal, gratuita y renovable.

Los hombres siempre han estado interesados en dominar la energía de las mareas. Los griegos intentaron hacerlo en los estrechamientos del canal de Euripa. Molinos de agua, que funcionaban gracias a la potencia de la onda, proporcionaban energía a Eubea y a Cefalonia. Artefactos parecidos se implantaron en las costas de la Vendée, de Bretaña, de Inglaterra, de los Países Bajos, así como en la costa este de Estados Unidos.

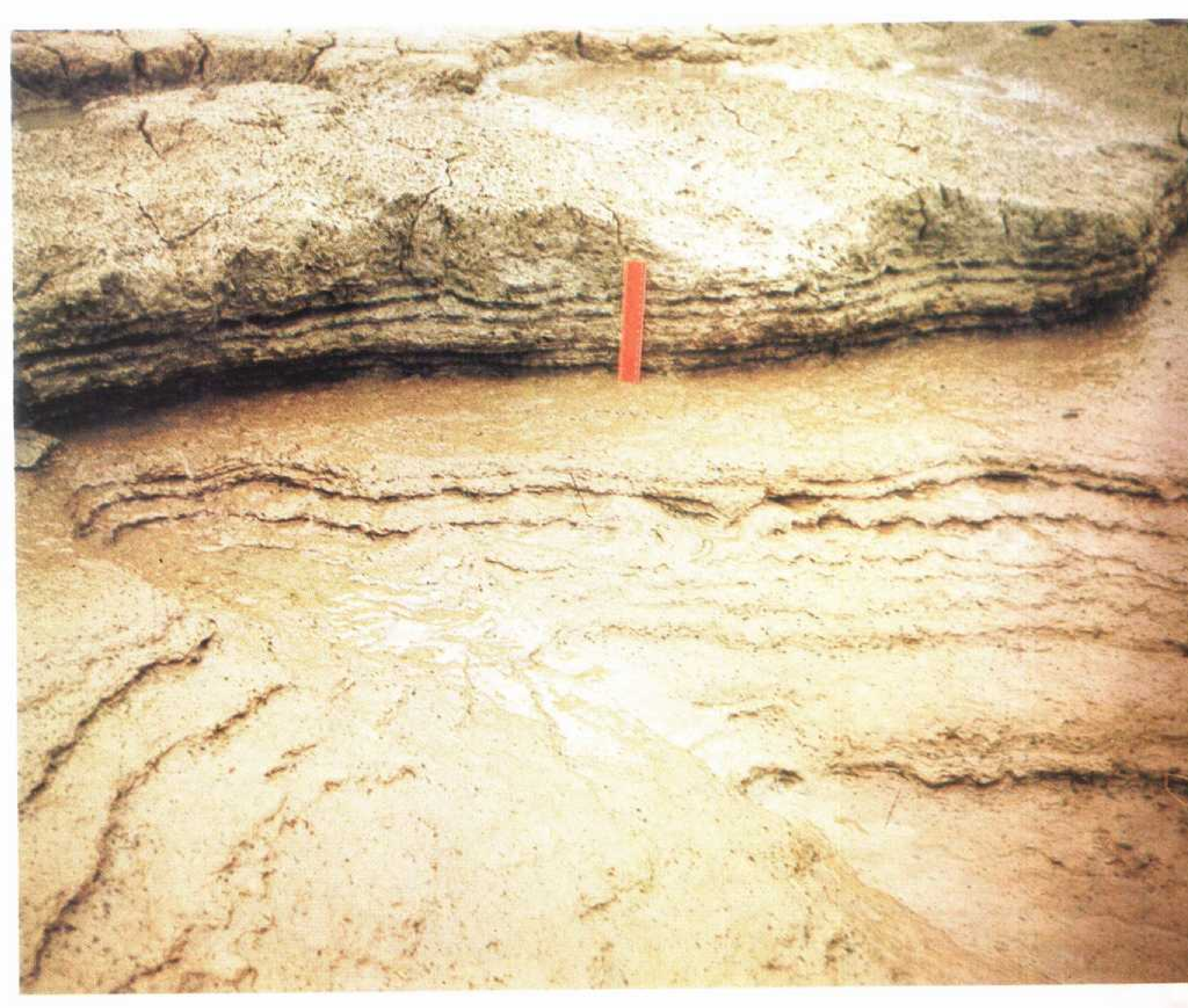
Existe un elevado número de lugares adecuados para la implantación de centrales maremotrices. El gasto inicial para la implantación de estas unidades es elevado. Pero su explotación, al utilizar una «materia» prima gratuita, permite una rápida amortización. El gasto de mantenimiento no sobrepasa el de una central térmica normal.

Las mareas desarrollan una considerable fuerza de inercia. Las mareas, semidiurnas, se producen dos veces al día, la primera sobre el meridiano expuesto a la Luna, la segunda en el meridiano opuesto a ella. Como los días lunar y terrestre no coinciden, las mareas alcanzan su punto máximo cada 12 horas y 24 minutos. La influencia del Sol, igual que la de los otros planetas (sobre todo Júpiter), complica un poco más este movimiento. La conjunción de todos estos factores contribuye a crear diferentes tipos de mareas. La Luna ejerce una atracción sobre la Tierra 2,25 veces superior a la del Sol.

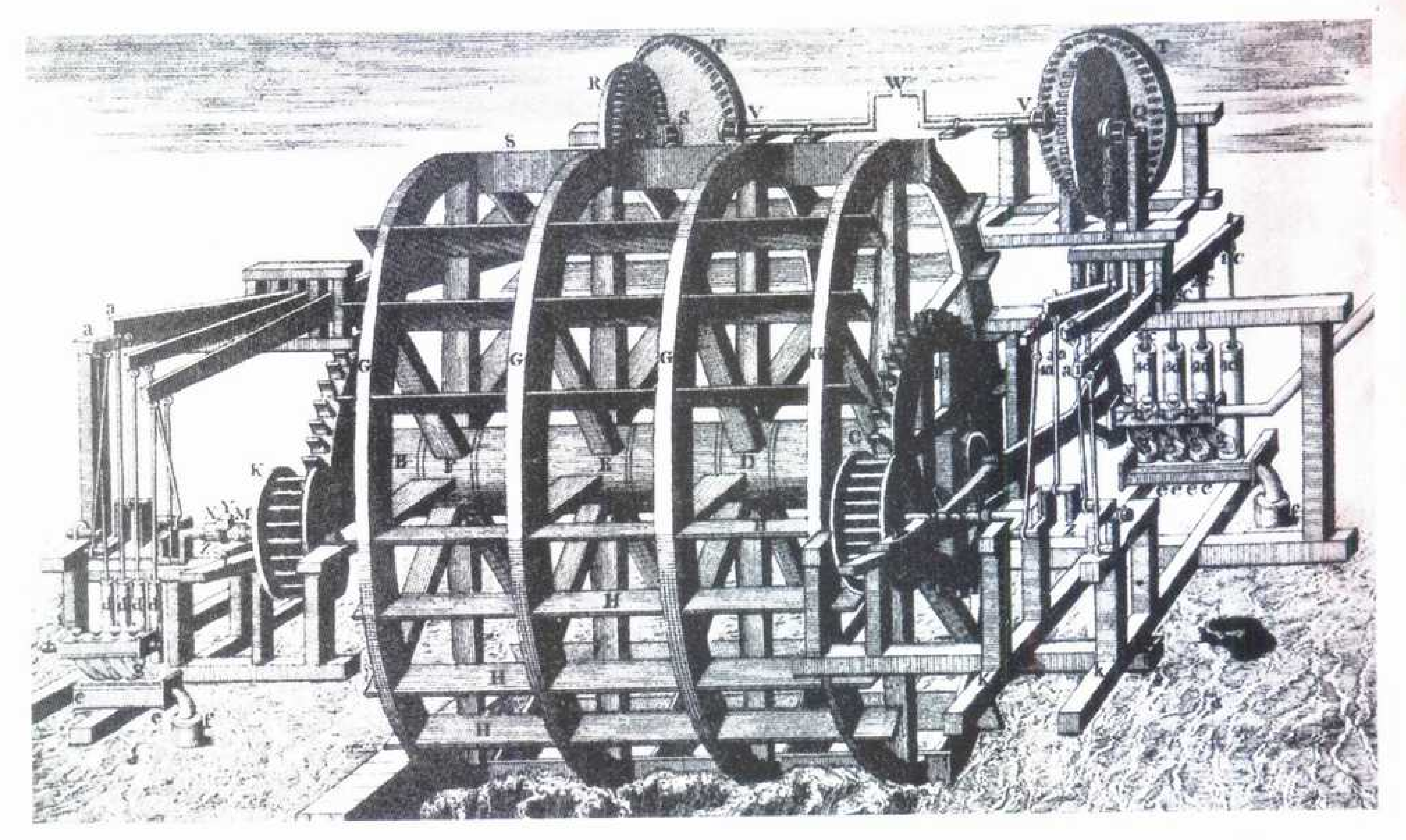


Energía y variaciones del nivel del mar. *El esquema de arriba pone en evidencia las variaciones de las reservas disponibles para las turbinas en una central maremotriz, en función del nivel del mar (es decir, del movimiento de balanceo de las mareas) durante veinticuatro horas. Como se esperaba, la energía maremotriz es periódica. Esta periodicidad no se adapta siempre a la demanda de los consumidores. Este es uno de los grandes problemas que deben resolver los ingenieros al plantearse una explotación maremotriz. No es suficiente con colocar una presa en la entrada de una bahía estrecha, donde las mareas son fuertes, ni con pasar el agua que entra y sale por una turbina. Hace falta también optimar el sistema convenientemente en función de la demanda.*

Como gira alrededor de la Tierra, y esta última lo hace alrededor del Sol, los dos astros fundamentales en las mareas pueden estar en diferentes posiciones. Cuando los tres astros están alineados, y la Luna se encuentra entre la Tierra y el Sol, las mareas alcanzan su máxima amplitud; en este caso se les llama mareas vivas. Cuando los tres astros están alineados, pero la Tierra se encuentra entre la Luna y el Sol, las mareas son muy débiles (mareas muertas). Cuando los cuerpos celestes citados forman un ángulo de 90°, las mareas alcanzan una amplitud media.
La gran ventaja de las mareas sobre otras formas de energía recuperable es que son previsibles. Desde hace tiempo, los especialistas han trazado unas tablas que proporcionan la altura máxima de las mareas en cada región, y también su amplitud. Al ser la fuerza gravitacional la causa fundamental de estos fenómenos, el único factor de variación al que están sometidas es la posición que tienen los astros en el cielo.
Su potencia no depende de factores estacionales.
La rotación de la Tierra engendra una fuerza particular, bastante conocida, la fuerza de Coriolis. Esta tiene una influencia secundaria en el comportamiento de las ondas de las mareas. Otras fuerzas, llamadas geotrópicas, también intervienen en este campo. La configuración de las cuencas oceánicas es esencial. En los mares abiertos, la amplitud de las mareas es del orden de 50 centímetros, aunque en algunos estrechos y zonas angostas, donde la corriente de marea es más elevada, puede alcanzar hasta varios metros. La configuración de ciertas bahías es bastante especial. Las dimensiones de algunas de estas ensenadas (o de estos estuarios) están en relación directa con la longitud de la onda de la marea. Se produce un fenómeno de resonancia, muy conocido por los físicos, que termina por reforzar el movimiento de balanceo del agua. Es en estos lugares donde la amplitud de marea es más fuerte, y a priori más rentables las instalaciones maremotrices. Podemos encontrar configuraciones de este tipo en la bahía de Fundy, en Nueva Escocia (Canadá), en la bahía del Mont-Saint-Michel (Francia), en el estuario de Severn (Gran Bretaña), etcétera.
Las mareas desarrollan una potencia impresionante. Se estima que producen una disipación de energía de unos 3.000 millones de kilovatios, de los que 1.000 millones corresponden a las zonas de costas bajas.
A modo de comparación, la suma total de la energía potencial hidroeléctrica de los afluentes y de los ríos de la Tierra es también del orden de los 3.000 millones de kilovatios.



Los molinos de marea. *En la Edad Media se extendieron rápidamente por Bretaña, Inglaterra, Holanda, norte de Alemania, etcétera, y más tarde se instalaron en América. El grabado que aparece bajo estas líneas muestra uno de estos aparatos, ya perfeccionado, que se puso en servicio en 1701. La W nos muestra la manivela para invertir los engranajes, para beneficiarse de la fuerza de la marea alta, así como de la corriente de reflujo. Estos molinos servían para moler grano o para bombear agua que se encontraba en exceso en algunos terrenos. Existen en el mundo muchos lugares donde se podrían instalar centrales maremotrices reducidas. Esas pequeñas centrales modernas podrían proporcionar a las comunidades humanas una energía limpia, gratuita y renovable. El problema de las grandes centrales reside sobre todo en que pueden perturbar ciertos ciclos vitales relacionados con la oscilación de las mareas.* ***Arriba:*** *estratos formados por depósitos de arena llevados por la fuerza de las mareas.*



Los sistemas de diques



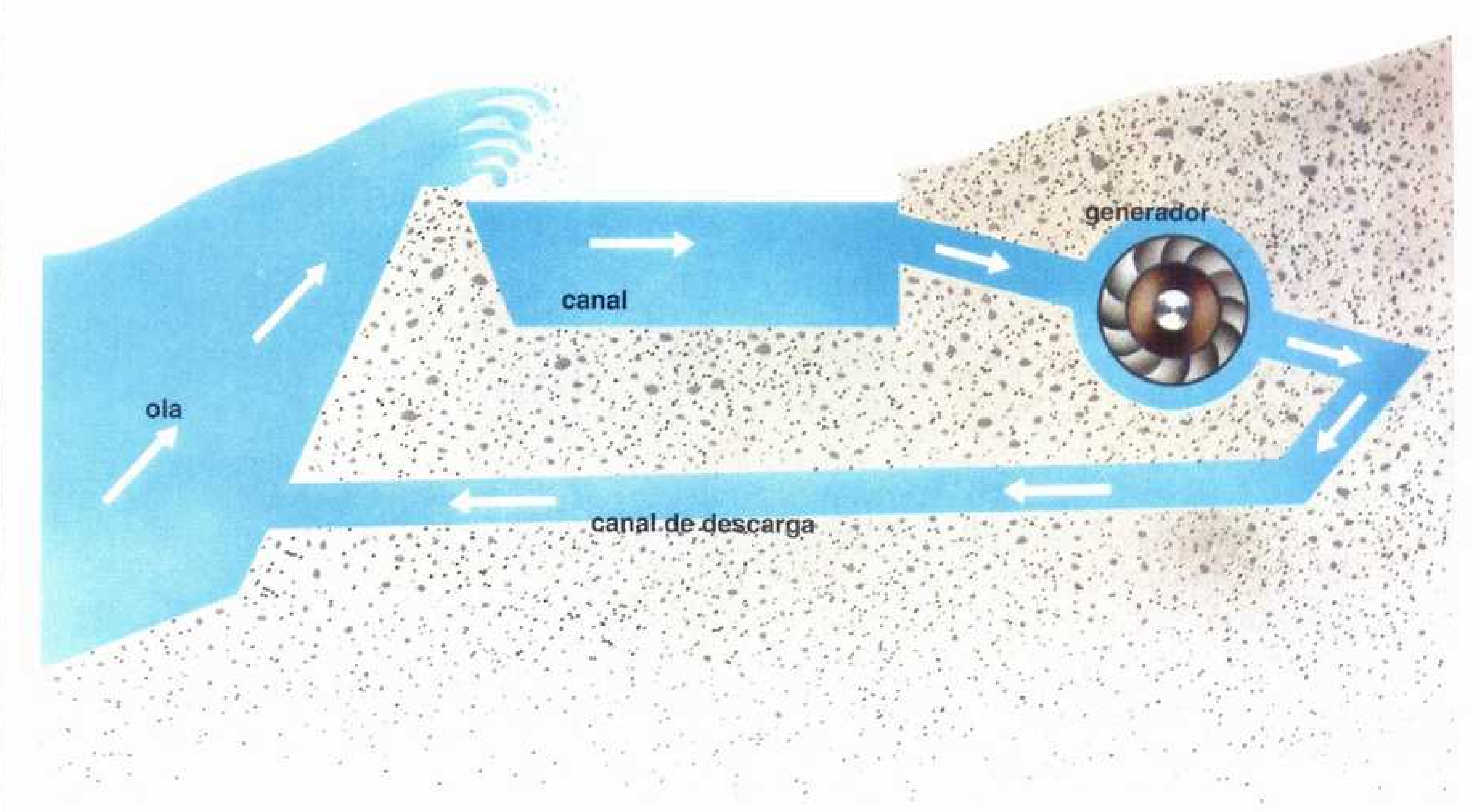
La domesticación de la energía de las mareas precisa la construcción de diques o presas en lugares especialmente elegidos, en los que la amplitud de la onda es muy fuerte. Se considera en general que si la amplitud en cuestión es inferior a cinco metros, el emplazamiento es inadecuado. Los estuarios y los golfos de ciertos lugares ofrecen unas condiciones adecuadas. Los récords de oscilación de marea, en la bahía de Fundy, sobrepasan los 15 metros. En la bahía de Mont-Saint-Michel son de aproximadamente 14 metros.

Cuencas como las que acabamos de comentar se llenan y se vacían de una cantidad de agua enorme. Cuando se coloca la presa en la entrada y se deja penetrar la onda de marea creciente, atrapamos detrás de la presa una masa de agua considerable, que podemos liberar en marea baja aprovechando la diferencia de nivel, consiguiendo que el agua accione unas turbinas. Este es el principio fundamental.

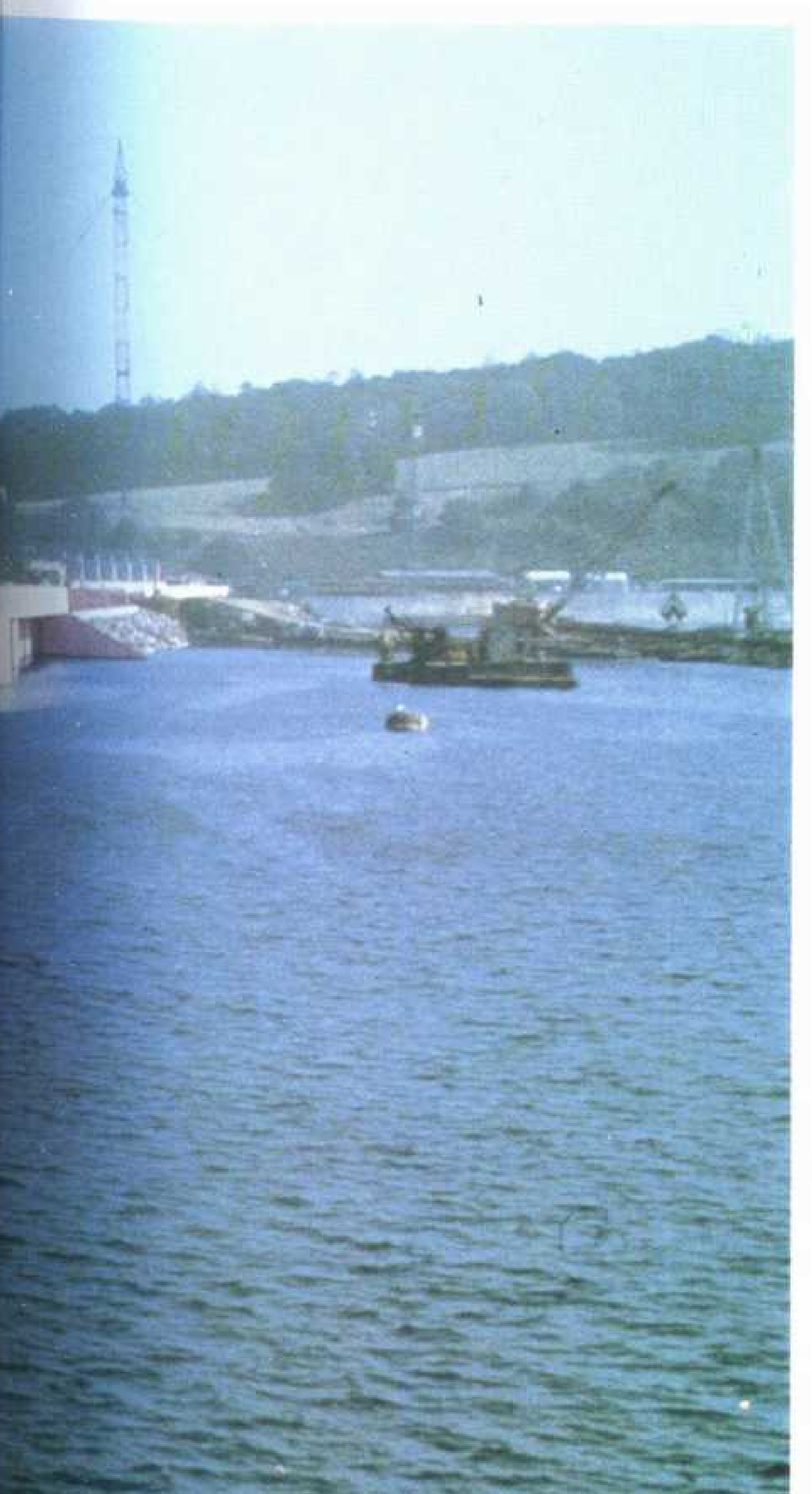
Podemos utilizar turbinas con rotores reversibles: en este caso se produce electricidad en el flujo, y de nuevo durante el reflujo.

Los primeros molinos de marea realmente eficaces (exceptuando los de los grie-





gos) datan de aproximadamente cuatro siglos.
Formados por un simple dique, que permitía bloquear el flujo en el interior de una cuenca (generalmente poco preparada), la rueda del molino giraba durante la bajamar; al soltar las compuertas, el agua regresaba a alta mar.
La mayoría de los molinos de marea utilizaban la fuerza del mar para moler grano. En el Rance, cerca del Mont-Saint-Michel, en el mismo lugar donde más tarde se instalaría la mayor central maremotriz de los tiempos modernos, existían, hace más de doscientos años, catorce molinos que giraban a la vez. En Inglaterra, cerca del puente de Londres, se instaló desde 1580 un molino de marea utilizado para bombear el agua. En el siglo XVIII, en el mismo lugar, cuatro molinos accionaban 52 bombas. Un detalle interesante: las paletas de estos aparatos giraban hacia un lado u otro según el sentido de la corriente.
Para la elección de un lugar de instalación de una central maremotriz, lo primero que se tiene en cuenta es la amplitud de la marea. Se necesita asimismo una cuenca de grandes dimensiones, que sirva de reserva. Hay otros factores que también se deben tener en cuenta: la estructura geológica ha de ser favorable para la instalación de una presa; la electricidad producida no será enviada a una distancia demasiado grande; las condiciones climáticas deben ser favorables (resulta difícil, por ejemplo, instalar una central maremotriz en una zona con bancos de hielo en invierno)...
El ingeniero francés Robert Gibrat ha elaborado una fórmula que permite evaluar rápidamente los lugares propicios para la instalación de centrales maremotrices, demostrando la relación entre la longitud del dique y la cantidad de energía que se puede recuperar con una única turbina: cuanto más pequeño es el valor obtenido, más favorable es el lugar. Evidentemente, cuando los ingenieros efectúan sus cálculos definitivos de posibilidades, introducen en sus ecuaciones un mayor número de parámetros.





Los sistemas de presas. *Una condición necesaria (pero no suficiente) para poder explotar la energía de las mareas es saber construir las presas adecuadamente. La explotación de los ríos nos ha permitido progresar en este terreno (a la derecha, la construcción de la presa de Asuán), pero los problemas planteados por el agua de mar son más difíciles de resolver. Los primeros que han encontrado realmente la solución son los franceses, con la central maremotriz de Rance, que puede almacenar 184 millones de metros cúbicos de agua. Podemos ver en las fotografías de la izquierda dos etapas de la edificación de esta presa. El dibujo de arriba de esta página muestra una posibilidad de aprovechamiento de la onda de marea, adecuada para una pequeña explotación.*

Los tipos de cuencas

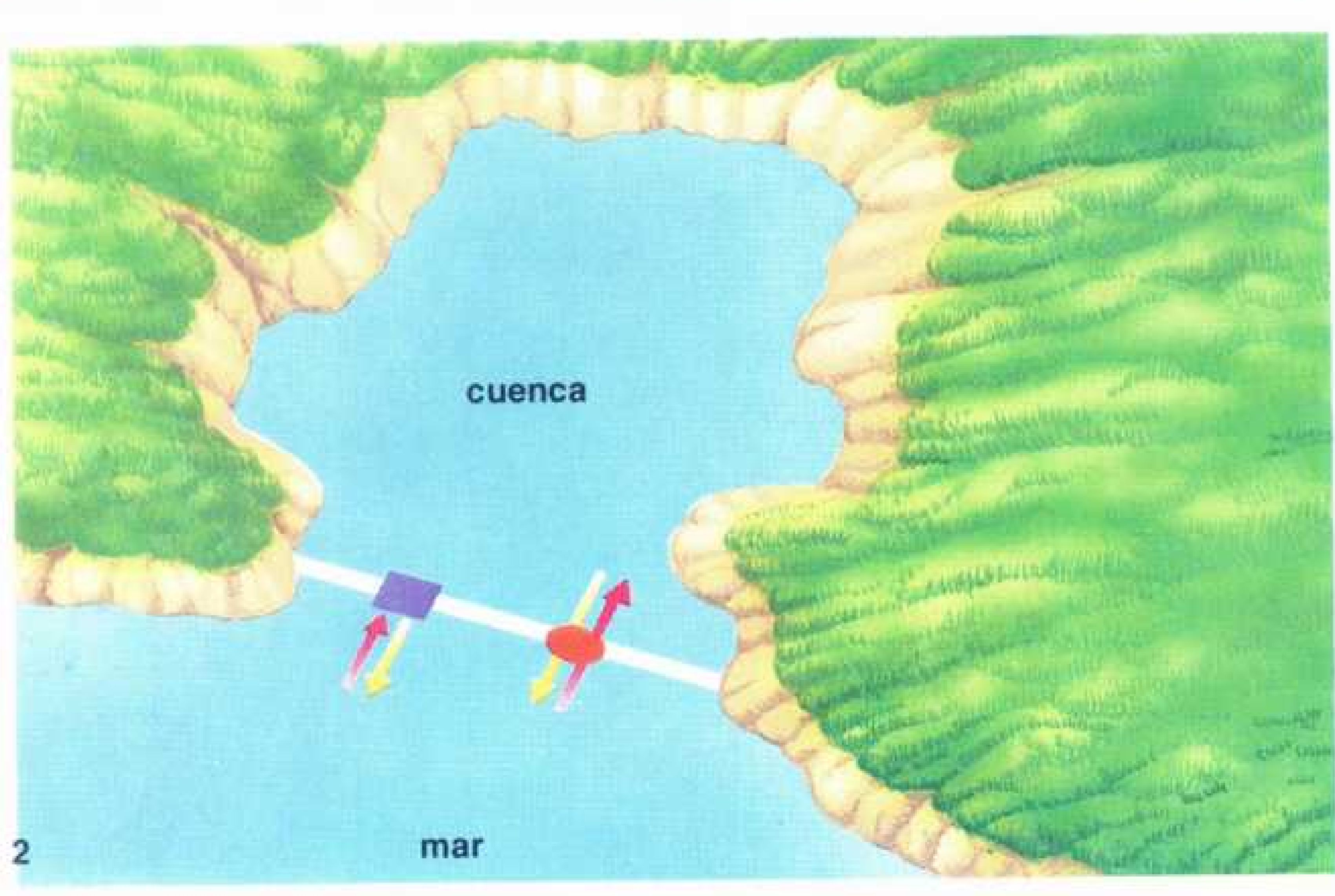
CUANDO se plantean proyectos de explotación de la energía maremotriz se consideran diferentes hipótesis. Se puede optar por los sistemas siguientes:

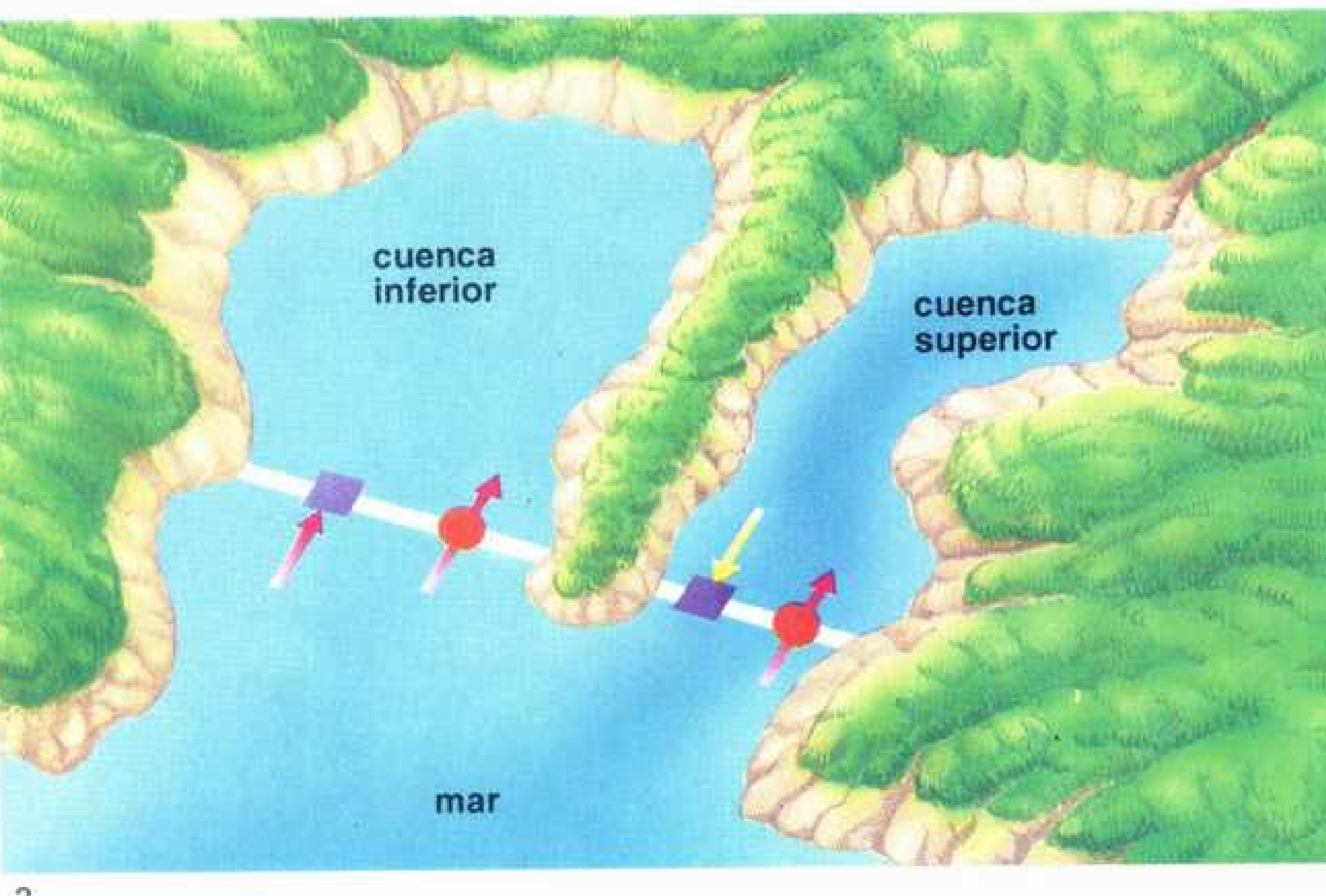
1. *Funcionamiento unidireccional*. El llenado de la cuenca se realiza durante el flujo, y la producción de energía eléctrica se consigue únicamente durante el reflujo. Las turbinas necesarias son simples (similares a las de las centrales hidroeléctricas), pero el rendimiento del conjunto es mediocre y el tiempo de trabajo cotidiano (factor de carga) es bajo.
2. *Funcionamiento bidireccional*. Se utilizan generadores con rotores reversibles. La producción de electricidad se realiza durante el flujo y el reflujo. El factor de carga mejora.
3. *Funcionamiento bidireccional con un sistema de bombeo*. Como en el caso precedente, la producción de electricidad se realiza en los dos sentidos. Se mejora la eficacia del conjunto al utilizar la energía sobrante, en los flujos y reflujos más fuertes, para bombear agua del mar dentro de la cuenca. Este método permite regular la producción eléctrica, y elimina los riesgos de obtener niveles de producción desajustados en relación con los niveles de consumo. Este problema es uno de los que más preocupan a las compañías productoras de electricidad.
4. *Utilización de cuencas llenadas por bombeo*. Se puede producir energía maremotriz sin necesidad de mareas. Si disponemos de una cuenca-reserva cerca del mar, y colocamos un dique, podemos bombear agua, que haremos pasar por una turbina cuando necesitemos producir energía eléctrica. El único interés de este

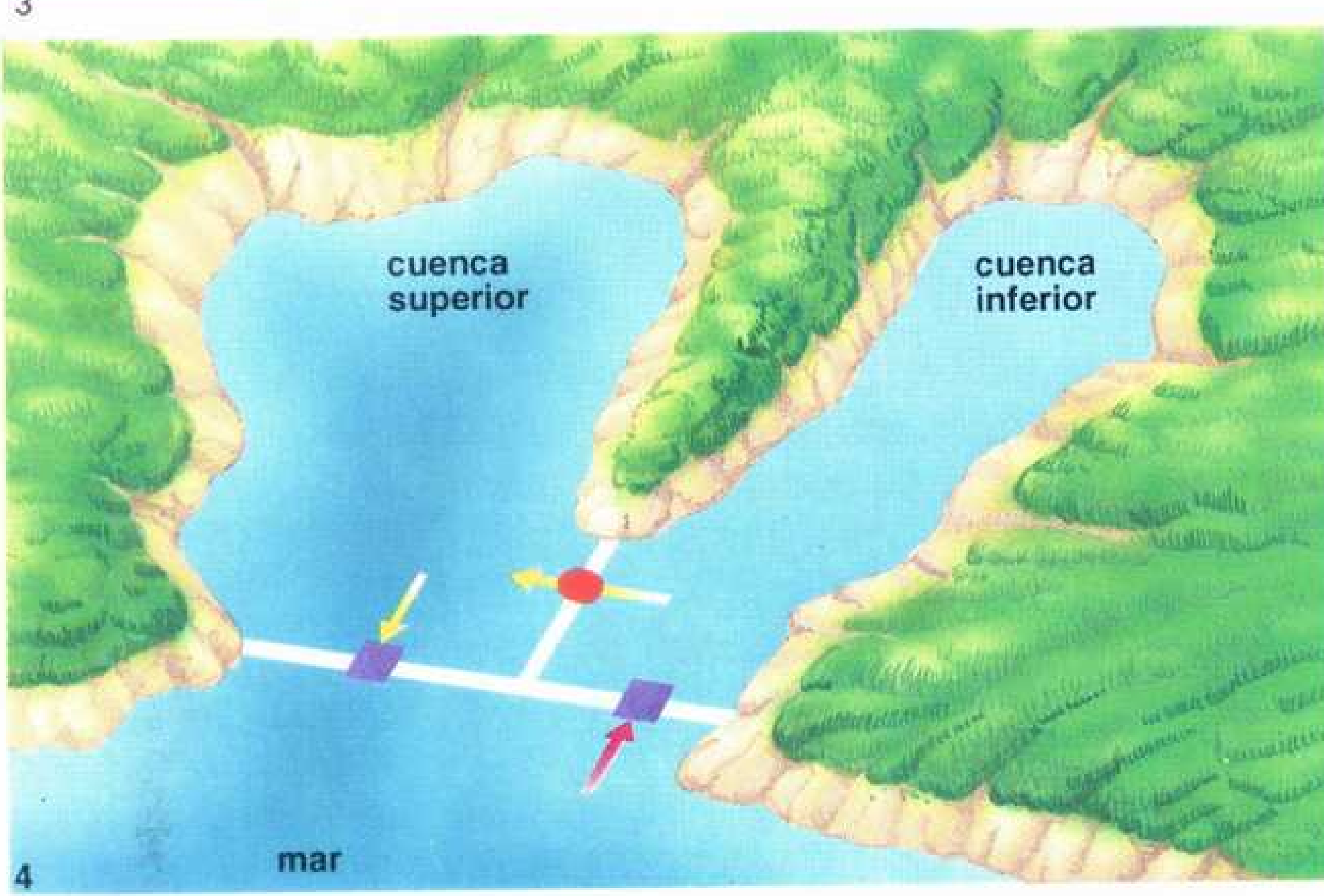












tipo de instalaciones es utilizar la sobrecarga de energía de otras centrales (particularmente nucleares) en las horas sin consumo, para elevar el agua, que se puede volver a pasar otra vez por la turbina en las horas de máximo consumo (se suele proceder de la misma manera en algunas presas de montaña).
La configuración de las cuencas-reserva puede ser bastante variable, dando lugar a diferentes utilizaciones.
Si, por ejemplo, disponemos de dos cuencas vecinas, colocaremos entre las dos un sistema de diques, lo que nos permitirá disponer de varios niveles. Las cuencas se llenan simultáneamente, pero no se vacían al mismo ritmo; esto permite una modulación muy ajustada de la producción eléctrica.
Podemos utilizar también la cuenca inferior como reserva para el funcionamiento normal, y la cuenca superior como reserva anexa; en ella bombearemos agua en caso de exceso de producción y la variaremos en caso de una gran demanda de electricidad.
Los métodos para equilibrar la producción y el consumo de electricidad son, hoy en día, numerosos y eficaces. Uno de ellos consiste en acumular aire comprimido durante el período de producción excesiva (la compresión se realiza en grandes reservas de acero). Cuando se necesita, se envía el aire comprimido a unas turbinas de gas.
Podemos también conectar una turbina de hélice, accionada por la corriente de marea, a una bomba hidrostática. La energía de la marea se transforma entonces en un flujo de aceite de alta presión que, a su vez, acciona una turbina Pelton acoplada a un alternador.
Y así sucesivamente...

Los tipos de cuencas. *La manera más sencilla de valorar la energía maremotriz es la cuenca simple (1), en la cual el llenado se hace por medio de compuertas, y el agua pasa por las turbinas únicamente durante el reflujo. Esta cuenca simple puede mejorarse (2): el turbinaje tiene lugar una primera vez durante la marea alta, y una segunda vez durante la marea baja. Se puede mejorar el sistema con dos cuencas de retención, contiguas pero independientes, gracias a las cuales podemos responder de forma más flexible a las variaciones de la demanda de electricidad. El sistema de bombeo de agua de una cuenca baja hacia una cuenca alta (4) es el más sofisticado y el que mejor responde a las variaciones del consumo. Las fotografías de esta doble página muestran, a la izquierda, la región de Rangún, en Birmania, vista desde satélite, y, a la derecha, una cuenca de retención de la central maremotriz de Rance, en Bretaña.*

La localización de los lugares

Las corrientes de marea tienen una velocidad variable según los lugares. La media suele ser de dos metros por segundo. En algunos lugares pueden ser mucho más rápidas. Existen también ciertos puntos en la Tierra donde se producen macareos: la onda de marea remonta el valle fluvial y lucha contra el caudal del río.

La energía de las mareas ha suscitado un aumento de interés después de la crisis del petróleo: nos hemos dado cuenta que existía un recurso explotable bastante importante. Se han censado de nuevo los lugares favorables para este tipo de explotación energética, que han sido localizados en numerosos lugares del globo. Por ejemplo, se pensó en equipar ciertos puntos de la costa nordeste de Islandia; las costas americanas de Maine y de New Hampshire parecen prometedoras; dos lugares descubiertos en el río Pistaqua, por ejemplo, podrían proporcionar juntos 39.000 kilovatios, el doble de la capacidad nominal de la central térmica más cercana.

No es absurdo pensar en instalar en las corrientes de marea una serie de turboalternadores flotantes, formados esencialmente por una turbina del tipo Savonius. No obstante, a causa de las necesidades técnicas inherentes a este tipo de instalaciones, para que fueran eficaces haría falta poner estructuras múltiples, distanciadas entre sí un kilómetro. La explotación de instalaciones flotantes *offshore* plantea siempre el problema de la resistencia a las tempestades.

Existen potentes corrientes de marea unidireccionales en ciertos estrechos de Indonesia y, también, en el sudeste de Nueva Guinea. La dirección general de los grandes flujos oceánicos en estas latitudes es tal, que las aguas del océano Indico se dirigen hacia el océano Pacífico. Están canalizadas entre las islas, y las corrientes así formadas alcanzan una velocidad impresionante, sobrepasando a veces los diez nudos, es decir, 5,1 metros por segundo. En estos lugares sí es posible la explotación maremotriz.

Según recientes estudios llevados a cabo en el mar de Irlanda, las corrientes que atraviesan el canal del Norte desarrollan una potencia de 3,6 megavatios (un megavatio = un millón de kilovatios). En el canal de la Mancha, entre la isla de Wight y Cherburgo, la corriente dispersa una energía de 3,3 megavatios. La corriente de Florida, que se une a la de las Antillas para formar la corriente del Golfo (Gulf Stream) tiene una potencia de 25 megavatios. Toda la energía de la ciudad de San Francisco podría ser extraída de la onda de marea que atraviesa el Golden Gate y cuya velocidad es de ocho nudos (4,2 metros por segundo).

Según los oceanógrafos británicos Fraenkel y Musgrove, el método más directo para explotar la energía de las corrientes de marea sería el de instalar bajo la superficie acuática el equivalente a un molino de viento dotado de rotor vertical. Estos dos investigadores sostienen la teoría de que la construcción de una central de este tipo resulta menos costosa que la edificación de una central maremotriz «clásica» con presa y turbinas.

Los lugares más adecuados. *Los hombres han deseado desde hace tiempo domesticar la enorme energía de las mareas. Aunque las mediterráneas sean débiles, los griegos ya intentaron utilizarlas. Después (ya lo hemos visto) llegaron los tiempos de los molinos de marea. En 1930, se elaboraron varios proyectos mucho más importantes. Actualmente sólo existen en funcionamiento dos grandes centrales maremotrices: la de Rance, en Bretaña, que fue la primera y conti-*

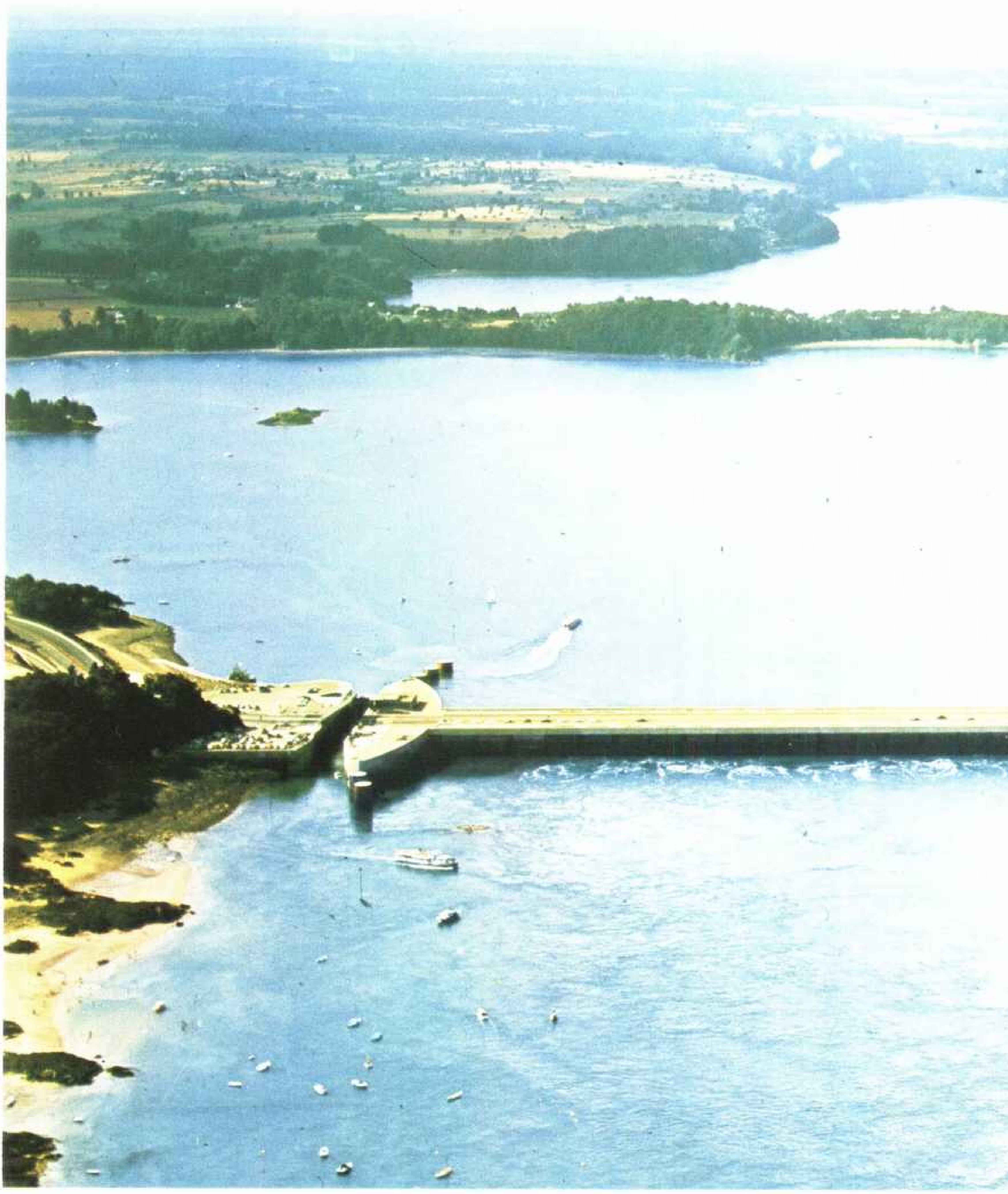


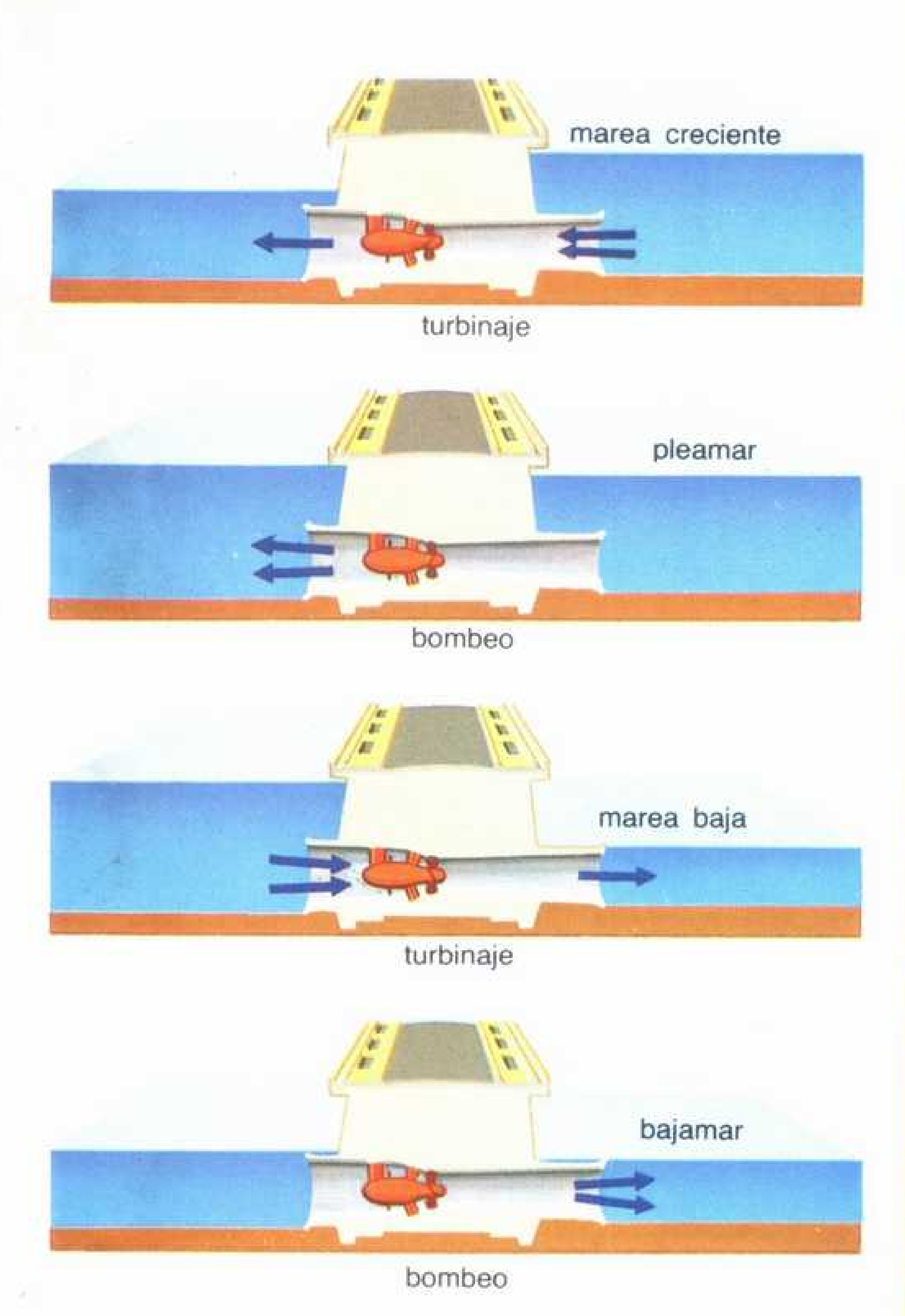
núa siendo la más potente; y la de Kislaya Gouba, en el mar de Barents, en la Unión Soviética. El mapa de arriba indica un cierto número de lugares favorables. Algunos, como el de la bahía de Fundy (Canadá) y el del estuario de Severn (Inglaterra-País de Gales), han sido objeto de estudios bastante profundos. Debemos tener en cuenta que cuanto más grandes son las instalaciones, mayor es el riesgo de perturbar la ecología de las zonas de oscilación de las mareas.

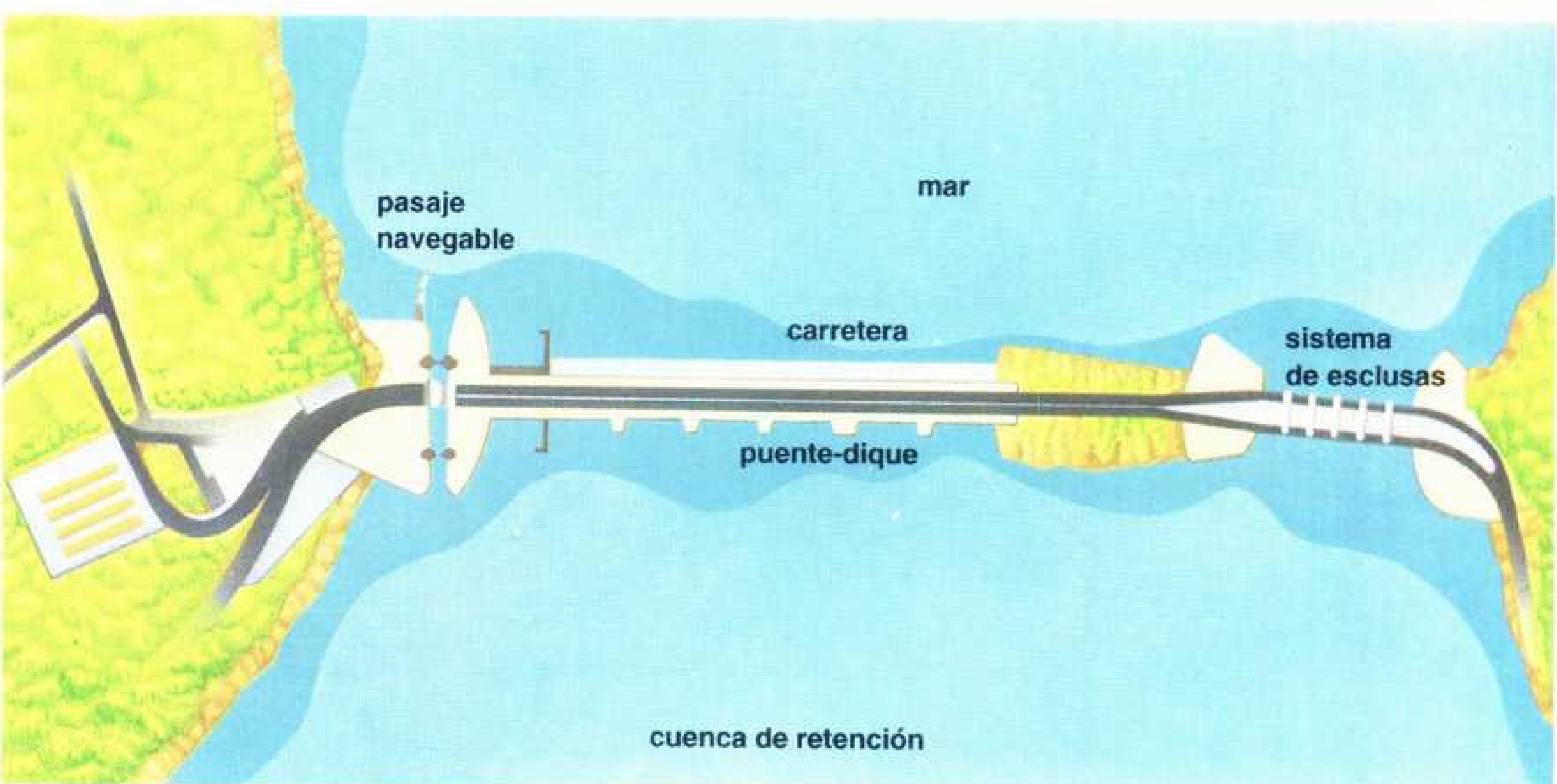
1. Bahía de Cook.
2. Columbia Británica.
3. Bahía de California.
4. Archipiélago de Chonos.
5. Estrecho de Magallanes.
6. Islas Gallegos/Santa Cruz.
7. Golfo de San Jorge.
8. Golfo de San José.
9. Marañao (Brasil).
10. Araguaya (Brasil).
11. Bahía de Fundy/Passamaquoddy.
12. Bahía de Ungava.
13. Bahía de Frobisher.
14. Severn/Solway.
15. Rance/Islas Chausey.
16. Mezen/Kislaya (URSS).
17. Mar de Ojotsk.
18. Río Seul.
19. Shanghai.
20. Islas Amoy.
21. Rangún.
22. Bahía de Cambay.
23. Golfo de Cutch.
24. Islas Kimberley.
25. Bahía de Darwin.
26. Estrecho de Broad.
27. Manucau.
28. Abidján.

La central sobre el río Rance

La central maremotriz más grande del mundo funciona desde hace años en Bretaña, en el Rance, entre Saint-Malo y Dinard. Es modélica por todos los conceptos, y su construcción ha necesitado la puesta a punto de nuevas técnicas, especialmente la de los tanques hidráulicos y la de los grupos de bulbos, de las que los ingenieros de la compañía *Electrité de France* pueden sentirse orgullosos.
Se comenzó levantando un dique parcial en la orilla izquierda del río y un muro sobre la orilla derecha, entre la tierra y el islote de Chalibert. Después se colocaron entre estas dos estructuras los famosos tanques hidráulicos, los cuales, instalados en paralelo por medio de potentes máquinas, acaban por obstruir completamente el río. Para terminar esta gran empresa se unieron los tanques a las partes del dique edificadas a cada lado del estuario. Un sistema de esclusas permite una navegación normal, cualquiera que sea el nivel de la marea.







Para la consolidación del gran dique se necesitó el aporte de 350.000 metros cúbicos de tierra y de rocas. La longitud total de la presa es de 910 metros, aunque en este punto la longitud del estuario sea solamente 750 metros: hay que tener en cuenta las necesidades del «anclaje» sobre el zócalo rocoso de las dos orillas. La

La primera central maremotriz del mundo. *Las fotografías y los dibujos de esta doble página muestran algunos aspectos de la central maremotriz de Rance, en Bretaña. Los ingenieros franceses han puesto a punto, para esta obra, algunas tecnologías revolucionarias, entre las que se pueden citar los famosos grupos de bulbos, que permiten pasar el agua por las turbinas en los dos sentidos, tanto en marea alta como en la baja. La serie de esquemas dibujados a la izquierda, en esta página, muestran que la electricidad se produce en las dos fases del balanceo; pero el 5 por 100 de esta electricidad se utiliza al final de la marea alta para bombear el agua con el fin de conseguir la mayor altura posible para la fase inmediatamente siguiente.*





cuenca de retención se alarga sobre 20 kilómetros al sur del dique, prácticamente hasta Dinan, cubre una superficie de 22 kilómetros cuadrados y permite tener en reserva un volumen útil de agua de 184 millones de metros cúbicos.

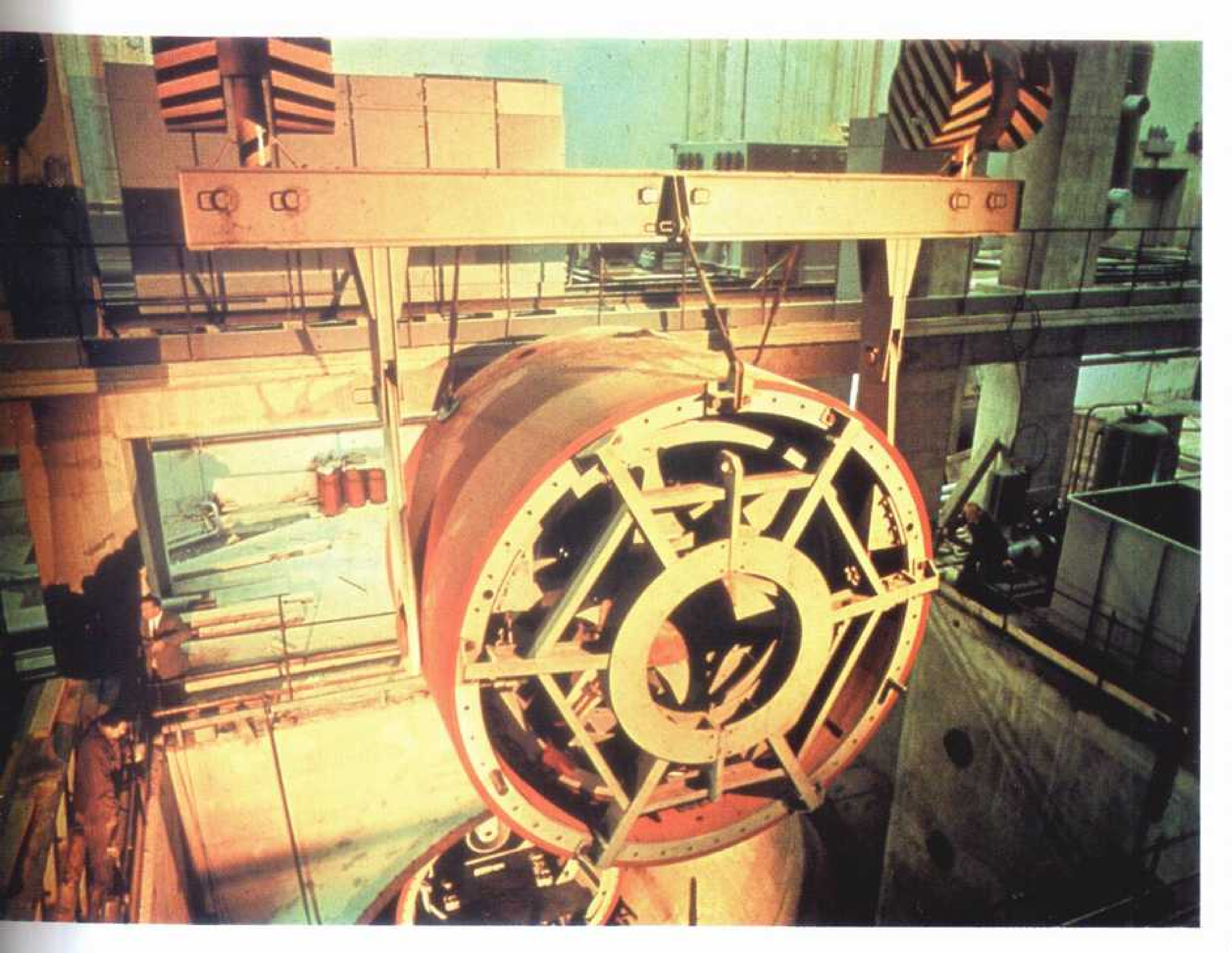
En la presa del Rance, la esclusa implantada desde el extremo del Brebis tiene una cámara de esclusa de 65 metros de longitud y 13 metros de anchura. La central propiamente dicha está situada en la zona profunda del dique, hueca de hormigón. Está reforzada por unos paramentos de hormigón que equilibran la fuerza de las corrientes de marea. La longitud de la central propiamente dicha es de 390 metros, y su anchura de 53 metros la estructura sobrepasa el nivel del mar en 15 metros, y los cimientos están anclados a diez metros bajo el zócalo del mar.

La electricidad la producen unas turbinas especiales, llamadas grupos de bulbos, en los que el desagüe es axial. La central del Rance lleva 24 bulbos de 10.000 kilovatios cada uno, dando una potencia total

de 240 megavatios. Los grupos de bulbos tienen la particularidad esencial de poder funcionar en ambos sentidos y, de esta forma, producir mucha más electricidad que las turbinas clásicas: giran durante el flujo, cuando la corriente de marea entra en la reserva; y giran de nuevo cuando se deja salir el agua de la cuenca, durante la marea baja. Cada alternador tiene un diámetro de cinco metros, y cada turbina un diámetro de 5,35 metros. Los grupos alimentan tres transformadores y las diferentes manipulaciones necesarias están aseguradas por cuatro puentes grúa de 90 toneladas. La entrada a la central se hace por un pozo abierto en la orilla izquierda del Rance, y por una galería que pasa por debajo de la esclusa.

La construcción de la central maremotriz del Rance se decidió definitivamente en 1961. El corte del estuario tuvo lugar, no sin ciertas dificultades de última hora, el 20 de julio de 1963, y el primer grupo se puso en funcionamiento a mediados del año 1966. Desde entonces, la central funciona perfectamente. El precio de la electricidad producida ha dado lugar a polémicas: se ha comparado con el de la electricidad hidroeléctrica, térmica y nuclear, pero, al parecer, no existen dudas de que la rentabilidad del sistema está perfectamente asegurada.



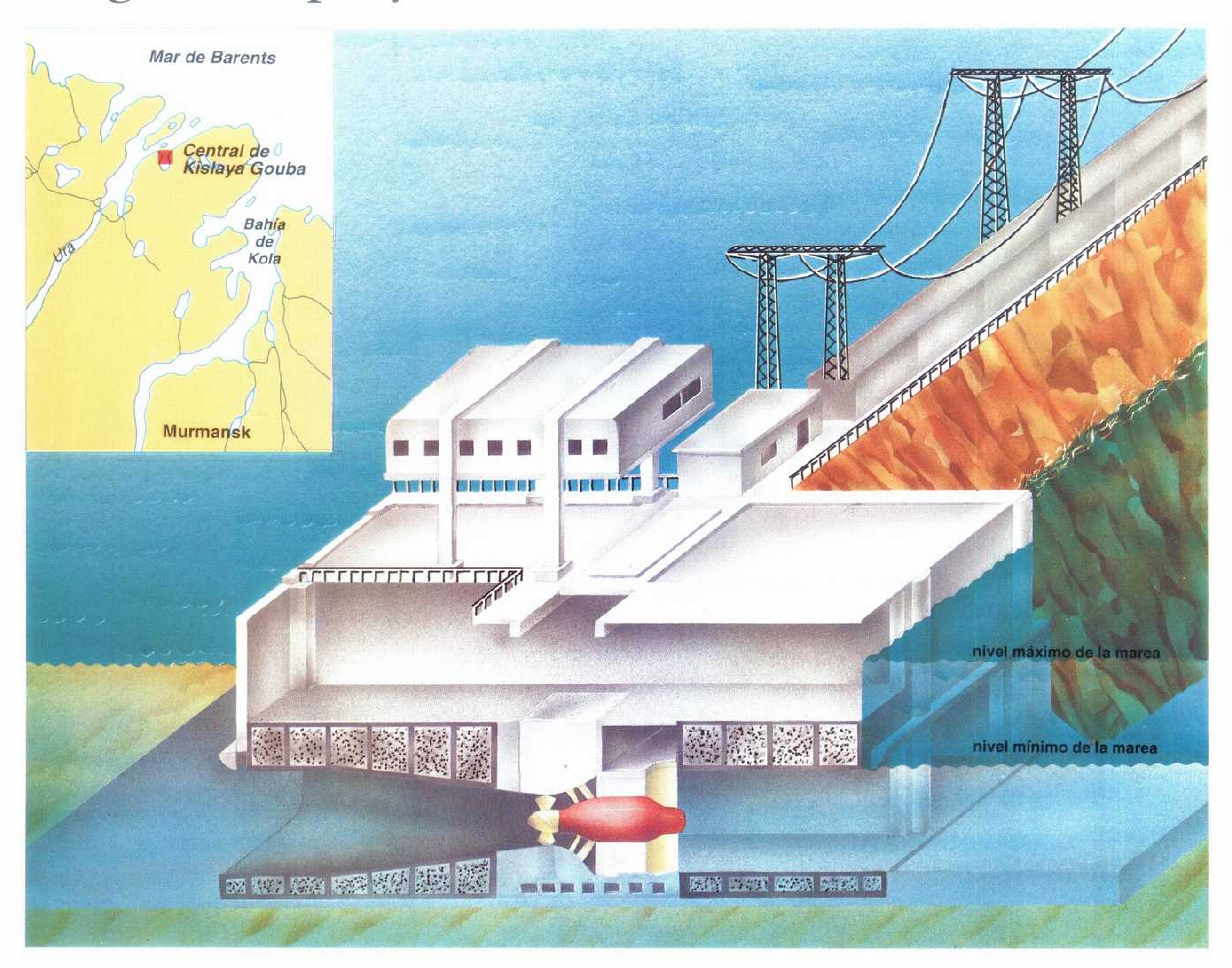


Los grupos de bulbos. *Las fotografías muestran los conductos de entrada de agua (página de la izquierda, arriba) y el corazón de la central de Rance (en esta página). Esquema: conjunto de bulbos: 1. Turbina con paletas orientables. 2. Alternador. 3. Ventilador para enfriar el alternador. 4. Distribuidor con orientación sincronizada. 5. Motor para la orientación de las paletas. 6. Pozos para la entrada y salida de cables.*

Debemos tener en cuenta que esta central funcionará durante varias decenas de años, mientras que una central nuclear «muere» a los veinte o veinticinco años. Existe otra gran central maremotriz funcionando en el mundo: la de la bahía de Kislaya, cerca de Mourmansk, en la Unión Soviética. Su presa limita una reserva relativamente profunda (35 metros), una superficie de 1,1 kilómetros cuadrados, y se comunica con el océano por un escalón de cinco metros de profundidad, y 30 metros de anchura. La instalación propiamente dicha tiene una anchura de 36 metros, una longitud de 26 metros y una altura de 15. La energía la proporcionan las mareas, cuya amplitud varía de nueve a trece metros. La construcción de la obra se llevó a cabo con dificultad, debido a las rigurosas condiciones climáticas locales.

Las temperaturas mínimas locales alcanzan en invierno los 35 grados bajo cero, mientras que las temperaturas estivales sobrepasan los 30 grados sobre cero. No se han observado menos de 200 ciclos sucesivos de heladas y deshielo por año. Sin embargo, la temperatura del agua es siempre baja y varía muy poco. Para proteger las estructuras de cemento contra los efectos de las heladas y el deshielo se las recubrió con una capa de resinas epoxy.

Los grandes proyectos



Las enormes mareas (las mayores del mundo) que se adentran en la bahía de Fundy, en Nueva Escocia (Canadá), han hecho soñar desde hace años a los ingenieros. En teoría, estos flujos podrían engendrar una energía potencial del orden de los 200 millones de caballos de vapor.

La bahía de Passamaquoddy comunica con la bahía de Fundy, que forma la frontera entre Estados Unidos (Maine) y el Canadá (Nueva Escocia y Nuevo Brunswick). Es uno de los mejores lugares para la instalación de una central maremotriz. La amplitud de las mareas vivas alcanza el récord de 16,10 metros, y la de las mareas muertas es por lo menos de 5,25 metros.

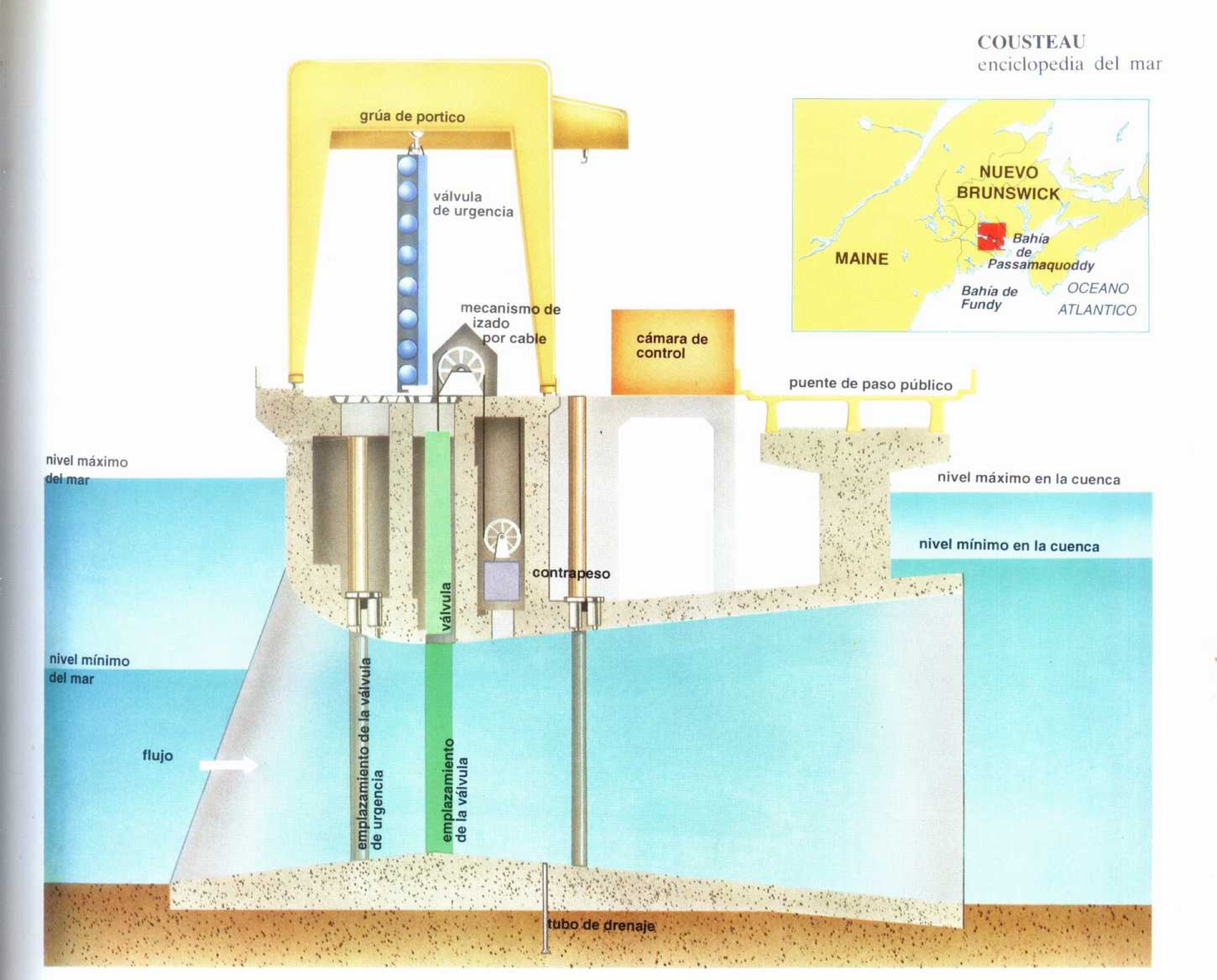
En el proyecto de instalación en la bahía de Passamaquoddy se utilizarían dos cuencas vecinas. La de la bahía propiamente dicha serviría de «cuenca alta», y la de la bahía de Cobscook, en Maine, se utilizaría como «cuenca baja». La cuenca baja estaría siempre en funcionamiento, mientras que la cuenca alta sería una reserva en la que se bombearía agua en las horas muertas para pasarla por las turbinas en las horas de gran consumo eléctrico. El complejo, en su conjunto, podría tener una potencia instalada de 200 a 300 megavatios. Pero otros proyectos más elaborados, que incluyen varias presas, aumentarían esa potencia a cerca de 1.000 megavatios.

En Estados Unidos se han estudiado otras posibles instalaciones de centrales maremotrices: por ejemplo, en Pleasant Point Cove, en Maine, o en Angoon, en Alaska, o también (siempre en Alaska) en la desembocadura del Upper Cook. Este último lugar podría revelarse muy interesante, ya que las estimaciones de potencia instalada que se han hecho dan unas cifras bajas de 750 megavatios, y unas altas de 2.600 megavatios. Sin embargo, las dificultades que supone construir en Alaska, el precio de coste de la hora de trabajo y el débil consumo local, impedirán durante cierto tiempo la construcción de tales obras.

Existen otros lugares favorables en América del Norte, sobre todo en la Columbia Británica; pero en esta provincia canadiense, los recursos hidroeléctricos son colosales, aunque sólo han sido valorados recientemente. Las mareas también son fuertes en el mar de Cortés, en el interior de la península de California, pero aquí el principal obstáculo es tectónico; se tendría que construir una presa justo sobre la falla de San Jacinto, en una zona donde los seísmos son muy frecuentes.

En América del Sur, los lugares más adecuados están en Brasil y, sobre todo, en Argentina y Chile. En Argentina, los ingenieros franceses que construyeron la central de Rance habían elegido la bahía de San José porque su amplitud de marea es una de las más grandes del mundo, llegando a veces a superar los 15 metros. El proyecto que habían elaborado permitía una producción anual de 17 a 18 mil millones de kilovatios hora (con sólo una cuenca), y de 75 mil millones de kilovatios hora (con una cuenca doble).

En China parece ser que las autoridades han optado por la construcción de unida-



Kislaya Gouba y el conjunto Fundy/Passamaquoddy. *La bahía de Kislaya, cerca de Murmansk, en la Unión Soviética, constituye una excelente cuenca natural de 35 metros de profundidad. Su superficie es de más de un kilómetro cuadrado y se comunica con el mar de Barents por una estrecha abertura de aproximadamente 40 metros. Aquí, los rusos han construido una presa y una central maremotriz que funciona a la perfección (página de la izquierda). El gran proyecto de la bahía de Passamaquoddy, en Estados Unidos (arriba), forma parte de un gran complejo, en el que también está incluida la bahía de Fundy, entre Canadá y Estados Unidos. En este lugar, la amplitud de las mareas es la más grande del mundo. Sin embargo, este proyecto, varias veces estudiado y apoyado (especialmente por el presidente Kennedy), todavía no ha podido ser realizado.*

des maremotrices de pequeña envergadura. Se dice que actualmente existen en este país 128 centrales de este tipo, representando en total una potencia instalada de 7,6 megavatios. Puede ser poco para cada central, pero es una solución original, acorde con el espíritu ecologista que preconiza la descentralización de los recursos energéticos. El complejo del río Taliang-Shunte tiene varias cuencas interconectadas, y representa él solo una potencia instalada de 304 kilovatios.

Los lugares adecuados en Asia son numerosos. En India se han encontrado varios, tanto en su costa occidental como en la oriental, pero todavía no han tomado la decisión de construir. En Corea, los encargados de la producción eléctrica tienen en avanzado estado un proyecto de central en la bahía de Inchon.

En Australia, el principal proyecto es el de la bahía de Collier, cuya amplitud de marea es considerable, pues experimenta una variación entre 7,2 y 12 metros, pero este lugar está muy apartado de los grandes centros de consumo, lo que aleja la posibilidad de que las obras empiecen próximamente.

Los soviéticos, aparte de la central cercana a Murmansk, ya en servicio, han hecho un gran esfuerzo para censar sus riquezas potenciales. Aparentemente tienen la intención de construir una nueva central maremotriz en el golfo de Kola, cerca de Lumkovca, y otra en la bahía de Mezen. Las capacidades de estas dos instalaciones son, respectivamente, de 300 y 6.000 megavatios. Pero estos proyectos concurren con el gran plan de equipamiento siberiano del mar de Ojotsk (para ser exactos, en las bahías de Peguinsk y Guijiga), donde la amplitud de marea es de unos 13 metros. Estos últimos proyectos deben de contribuir a la industrialización de Siberia oriental. Según los soviéticos, podrían producir cada año alrededor de 174 millones de kilovatios hora (estimaciones que quizás pequen de optimistas).

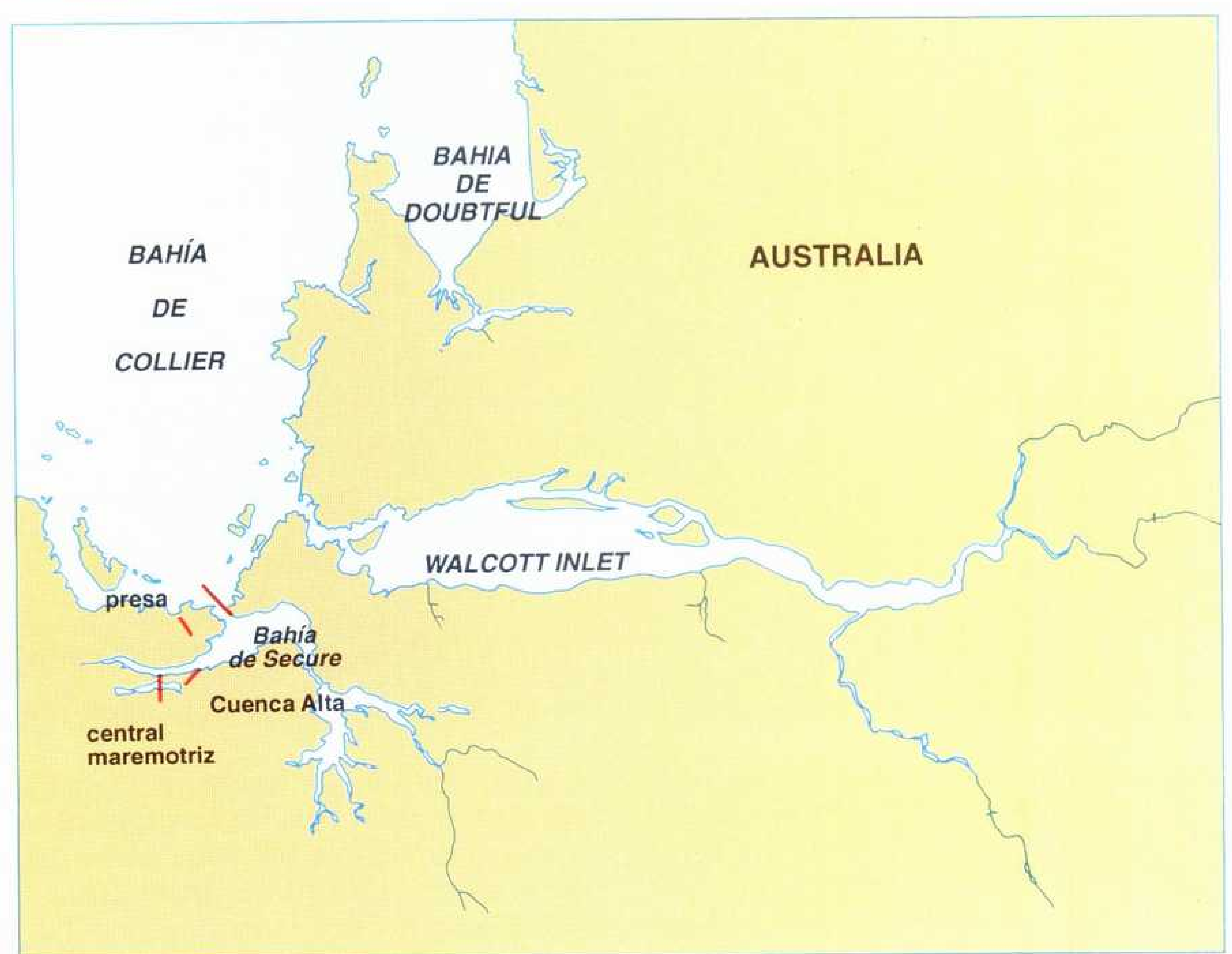
En Francia podrían adecuarse nuevos lugares de instalación. Los ingenieros han estudiado, por ejemplo, la bahía de Arcachon, la bahía de Croisic, el golfo de Morbihan, la bahía del Mont-Saint-Michel, la bahía de Seine, etc. El proyecto más grande corresponde a las islas Chusey. Consistiría en equipar todo el golfo comprendido entre el Cotentin y el

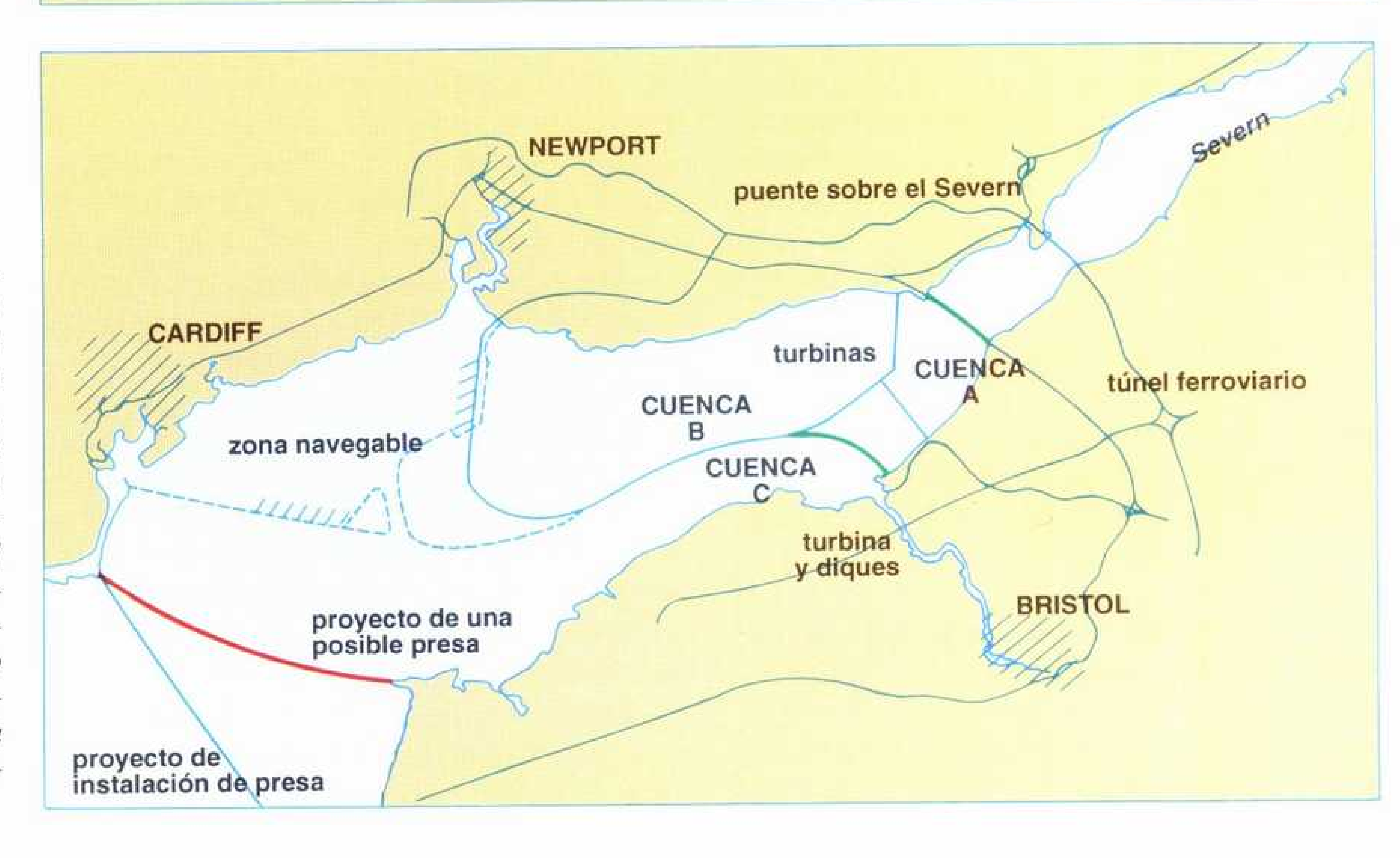
nordeste de Bretaña, estableciendo una doble presa: una entre Granville y las islas Chausey, y otra entre estas mismas islas y el extremo de Grouin, cerca de Cancale. Según los ingenieros, esta región tiene unas grandes posibilidades energéticas, pues se podría instalar una potencia maremotriz comprendida entre 10.000 y 20.000 megavatios, es decir, entre 10 y 20 centrales nucleares.

Entre los otros grandes proyectos europeos, cabría señalar el de la bahía de Vigo, en España, el del estuario de Severn, entre Inglaterra y el País de Gales, el del estrecho de Menai en el País de Gales, etcétera.


Las centrales maremotrices forman parte de los grandes recursos potenciales de energía. Sin embargo, para los ecologistas, no se trata de encerrarse una vez más en un único esquema de producción: la energía maremotriz es interesante con la condición de explotarla en los lugares donde pueda ser fácilmente recuperable, y siempre y cuando no se alteren seriamente los ecosistemas. El impacto de estas centrales sobre el medio ambiente marino no es despreciable. La ecología de las cuencas costeras, en las que la vida se regula en función de los flujos y reflujos, puede verse afectada por la implantación de presas y turbinas, que perturban este ritmo milenario. Podría suceder que los moluscos, los crustáceos y los peces se vean afectados por las modificaciones del balanceo de las mareas, especialmente en la época de la reproducción. Cuanto más importante es el proyecto de central maremotriz, más grande es el riesgo de alterar estos equilibrios. Igual que las otras fuentes de energía, propias y renovables, la energía maremotriz debe enfocarse a pequeña y mediana escala y de manera descentralizada.







Tres grandes proyectos. La bahía de Fundy es el lugar del mundo donde mayor cantidad de energía maremotriz se podrá recuperar. Los canadienses y los americanos estudian desde hace tiempo las posibilidades de implantación de centrales en esta gran bahía estrecha y en sus numerosas dependencias. Los australianos, por su parte, podrían instalar centrales maremotrices en varios lugares; el mejor sería la bahía de Collier. En el estuario de Severn, entre el País de Gales e Inglaterra, hay un lugar bastante favorable; allí, el principal obstáculo para la implantación sería probablemente el tráfico marítimo, seguramente perturbado por la instalación de una serie de presas.


La energía
de los mares

Los problemas energéticos

Los recursos energéticos de los que principalmente vivimos suelen ser materiales fósiles (carbón, petróleo, gas natural). Son energías no renovables, de las que quedan unas reservas variables (mucho carbón, poco petróleo y poco gas natural), pero que de todas maneras nunca podrán ser reemplazadas, por mucho que aumenten los gastos de producción. Hemos vivido con la idea de que los bienes de la naturaleza eran inagotables y de que podrían satisfacer las necesidades humanas de cualquier tipo hasta el fin de los tiempos.

Desde hace algunos años, esta creencia ha disminuido. Sabemos que las riquezas naturales son limitadas, que se deben economizar y que lo mejor es volverse hacia las que se renuevan espontáneamente.

Una de las características de estas últimas es que generalmente son más «limpias», menos agresivas para el ambiente que los recursos no renovables.

Los minerales, igual que las fuentes de energía, pueden clasificarse por su rareza o por su abundancia. Por ejemplo, podemos decir que las reservas de cierto mineral son escasas, porque al ritmo de consumo actual no llegarán a diez o veinte años. Sin embargo, podremos contar durante siglos con ciertas sustancias... Cuando hablamos de reservas, pensamos en las que existen y en las que pueden descubrirse. Pero nada impide pensar que, en un futuro más o menos lejano, nuevas técnicas permitan a los hombres echar mano de otros yacimientos, a veces colosales, y que actualmente no conocemos. De este modo, cuando sepamos horadar profundamente la corteza terrestre y acceder directamente a las reservas del magma de la astenosfera, tendremos unas fuentes prácticamente inagotables de metales de todo los tipos imaginables y reservas energéticas ilimitadas (en forma de calor). ¿Pero será esto verdaderamente posible algún día?

Estamos obligados a hacer lo que nos permiten nuestras tecnologías. Y no podemos contar, tanto en energía como en minerales, nada más que con lo que sabemos realmente recuperar, y con un gasto aceptable.



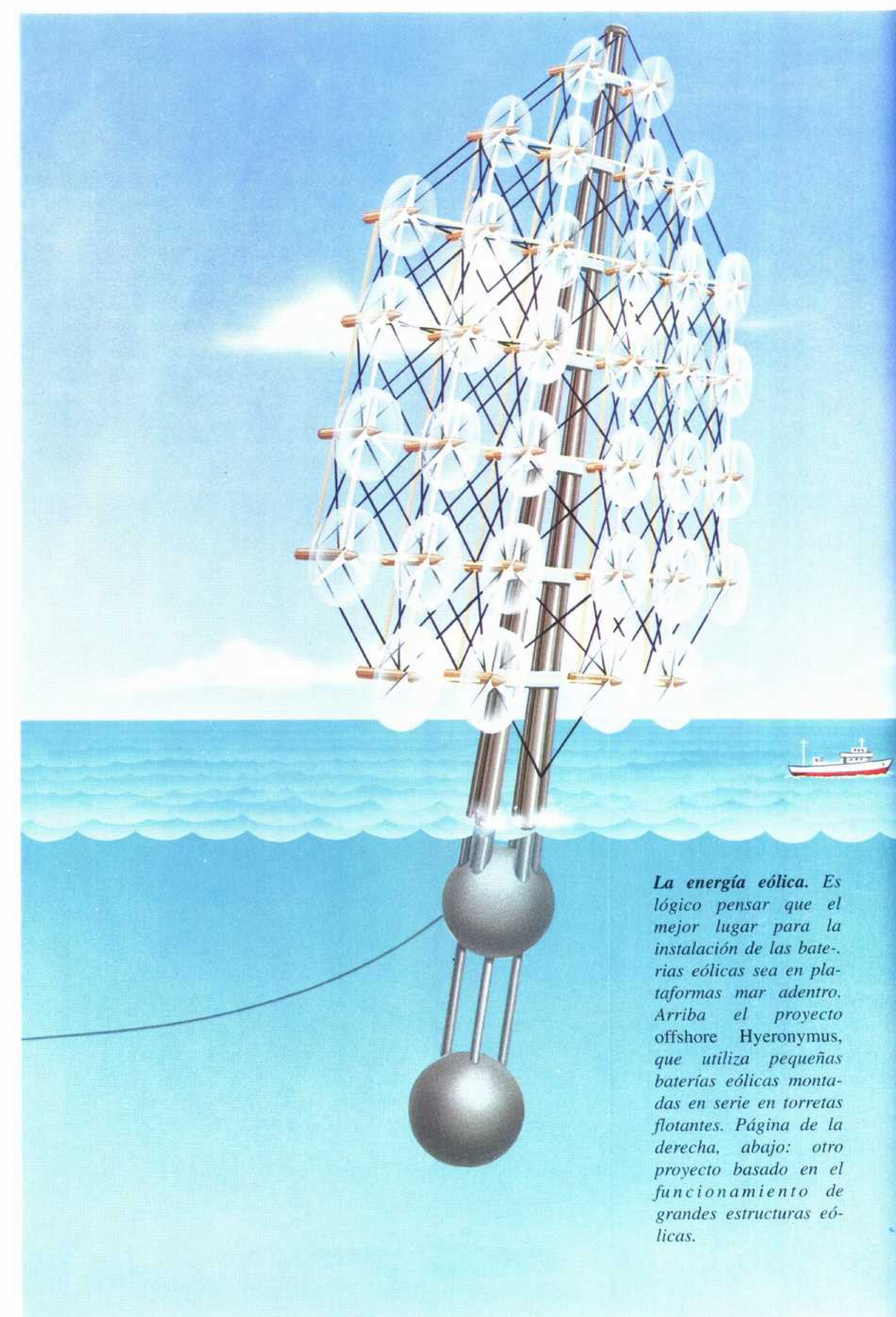
Las nuevas ideas no son muy numerosas. La energía nuclear que utiliza uranio (en cantidad limitada) no se diferencia en principio de las energías fósiles. Quedan lo que tenemos costumbre de llamar las energías suaves: el calor del Sol (que podemos recuperar gracias a diversos tipos de captadores); la luz del Sol (que da lugar a la energía fotoeléctrica y a la energía que las plantas verdes guardan en reserva en el momento de proceder a la fotosíntesis); la geotérmica; la energía hidroeléctrica; la energía del viento, y pocas más.
El mar constituye una fantástica fuente de energía. El calor del Sol determina las corrientes. El viento añade sus efectos para producir las marejadas y las olas. La sal que se disuelve guarda una cierta forma de energía. Los efectos de la atracción gravitacional de la Luna y del Sol generan las mareas. Hemos estudiado en capítulos precedentes de este volumen los problemas para la recuperación de la energía de la sal y de las mareas. Nos falta todavía, para completar, abordar la energía eólica en alta mar, la energía térmica del mar, la energía de las olas y de las marejadas y, por fin, la energía de las corrientes.

Las energías alternativas. *Los efectos de la crisis del petróleo han incitado a todos los países a buscar fuentes alternativas de potencia. Cada vez quedan menos dudas de que el futuro pertenece a las energías suaves, renovables, gratuitas y descentralizadas. Estamos ahora en período de investigación. En este sentido, el mar ofrece una amplia gama de posibilidades. Ya hemos citado las energías de la sal. Se podrían explotar también las de la biomasa acuática (cultivando las algas). Y todavía quedan las prodigiosas energías que desarrollan las mareas, las olas y las corrientes. El mar ocupa el 71 por 100 de la superficie del globo: es lógico que encontremos en los océanos los recursos energéticos renovables en los que debemos basar nuestro destino.*



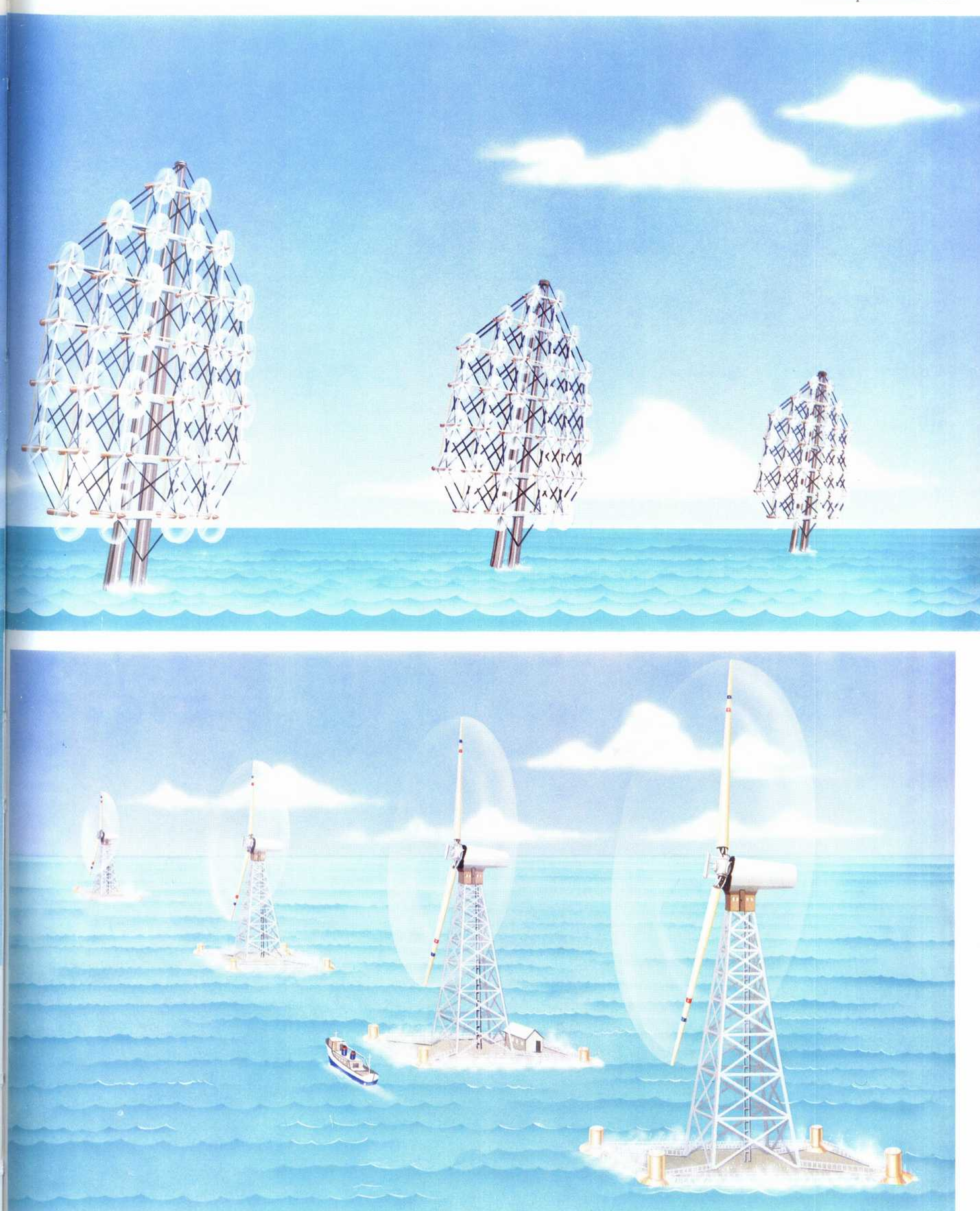
La fuerza de los vientos

La energía de los vientos es la energía solar modificada: los rayos caloríficos de nuestra estrella calientan las masas de aire y las ponen en movimiento. Recuperar la energía mecánica así liberada es bastante simple a pequeña escala: los hombres se han dedicado a ello desde hace milenios con los molinos de viento.
Una de las principales dificultades que se presentan cuando se quiere domesticar la energía eólica es su irregularidad. Los vientos pueden dejar de soplar durante días o, por el contrario, crear una tempestad, con el riesgo de romper el material de explotación.
Se conocen lugares donde el viento sopla con más regularidad que en otros, en los que la energía eólica parece interesante. Son los corredores que separan las montañas terrestres (por ejemplo, el valle del Ródano, donde se adentra el mistral). Pero la mayoría de los lugares favorables están situados en las costas marítimas (régimen de brisas de tierra y de mar) y, bajo ciertas latitudes, en alta mar.
Se piensa, desde hace ya algunos años, en la instalación de baterías eólicas en ciertas costas, o también en plataformas flotantes *offshore*. Los inconvenientes de la energía eólica consisten en que su rendimiento es bastante débil, en que resulta ruidosa (lo que no tiene ninguna importancia en la hipótesis de las plataformas *offshore)*, pero sobre todo en que es frágil. En Francia y en otros países, los servicios productores de electricidad han experimentado con eólicas gigantes (en Francia, en la isla Ouessant). Pero no parece ser una buena solución: las dificultades mecánicas son importantes sobre todo con paletas de varias decenas de metros de longitud, ya que las tempestades las pueden romper. Es mucho más eficaz y más prudente instalar eólicas de dimensiones más modestas, pero que resistan.
Además, en este terreno los progresos son muy rápidos, puesto que los ingenieros han inventado sistemas de desembrague automático de las paletas, en caso de que las ráfagas de viento sobrepasen una determinada velocidad.
La energía eólica parece especialmente prometedora cuando se piensa en una serie de plataformas productoras en el mar, enlazadas con la tierra por unos conductores elétricos. Estas unidades podrían levantarse no muy lejos de las costas de varios países, y en alta mar en las zonas con vientos casi constantes (regiones subpolares, zonas de vientos alisios). Los mejores lugares deberían elegirse después de unos sencillos estudios sobre el número de días con viento al año, la fuerza media de estos flujos aéreos y, por supuesto, la posibilidad de enviar la energía producida a la tierra sin muchas pérdidas.

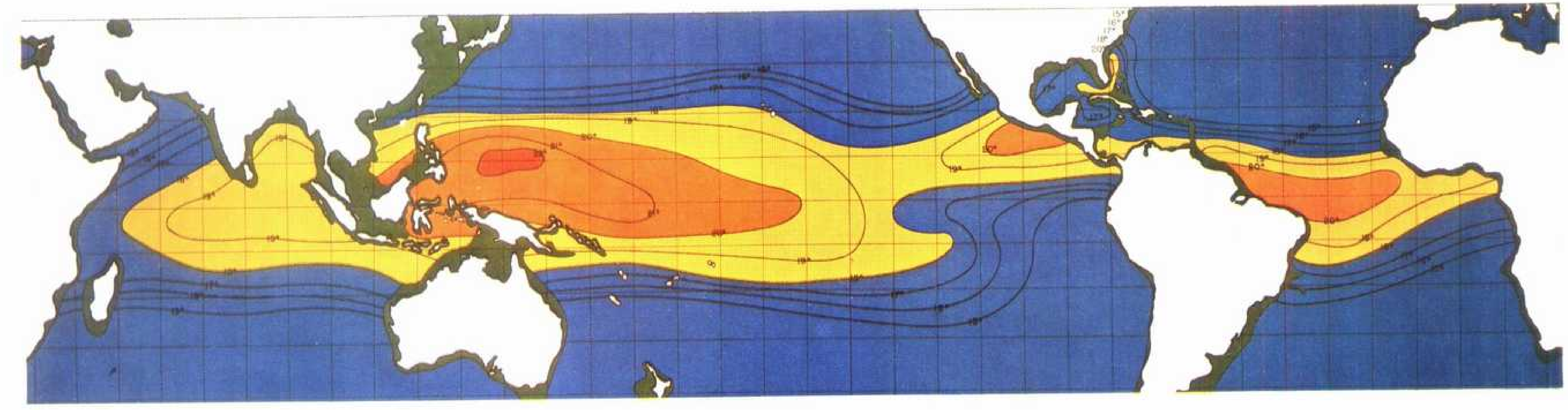


La energía eólica. *Es lógico pensar que el mejor lugar para la instalación de las baterías eólicas sea en plataformas mar adentro. Arriba el proyecto* offshore Hyeronymus, *que utiliza pequeñas baterías eólicas montadas en serie en torretas flotantes. Página de la derecha, abajo: otro proyecto basado en el funcionamiento de grandes estructuras eólicas.*

Aproximadamente el 2 por 100 de la energía solar que llega a la tierra se transforma en energía cinética del viento. El 35 por 100 de esta última se disipa en una capa atmosférica de un kilómetro de espesor, justo encima de la superficie terrestre.
Si se domesticara solamente el 10 por 100 de la energía eólica disponible al nivel del suelo, dispondríamos de un potencial energético de $1{,}3 \times 10^{14}$ vatios, es decir, casi veinte veces el consumo total de energía actual.
Seguramente se pondrán dentro de poco en servicio nuevos sistemas para recuperar esta energía. Sobre este punto, las experiencias con barcos de vela movidos por turbovelas (cilindros giratorios) que realiza actualmente la Fundación Cousteau permiten concebir grandes esperanzas. El cilindro «aspirado» del profesor Lucien Malavard y del doctor Bertrand Charrier ha permitido al barco experimental bautizado como *Molino de viento* atravesar el océano Atlántico. Este mismo cilindro podría suministrar, bajo ciertas condiciones, «trenes giratorios» de producción eléctrica en tierra.



La energía del gradiente térmico



El sistema del gradiente térmico. Se bombea el agua fría de las profundidades; por medio de un alternador de calor se la pone en contacto con un gas de bajo punto de ebullición (amoniaco, butano, freón): el gas se licúa. Después, con otro intercambiador se vaporiza el gas gracias a las calorías sacadas del agua de superficie. El vapor obtenido sirve para hacer girar una turbina. Las zonas del océano donde esta fuente de energía podría fácilmente instalarse son aquellas que cuentan con aguas cálidas en superficie: las tropicales y ecuatoriales, con la condición de que tengan bastante profundidad (mapa de arriba). En verde: profundidad inferior a 500 metros. En azul: diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo inferior a 18 grados. En amarillo: diferencia entre 18 y 20 grados. En naranja: 20 a 22 grados. En rojo: 22 a 24 grados.

La energía del gradiente térmico, como su nombre indica, tiene su origen en las diferencias de temperatura existentes en las diversas capas de la masa de agua oceánica.

En general, las zonas profundas del mar suelen ser frías, con una temperatura aproximadamente constante de cuatro grados. En la superficie, la temperatura es variable; puede ser inferior a cero en ciertas zonas polares, pero bajo los trópicos no sobrepasa los 30 grados. Evidentemente es en estas regiones donde mejores serían los rendimientos eventuales de una central de conversión térmica.

El primero que tuvo la idea de recuperar la energía térmica de los mares fue, en 1881, el físico francés Arsene de Arsonval. Propuso utilizar el agua profunda fría del océano para licuar amoniaco, y el agua superficial más caliente para vaporizar de nuevo este compuesto —el vapor produce el efecto de hacer girar una turbina, antes de ser nuevamente licuado en un intercambiador de calor expuesto a las frías aguas de los fondos marinos—. Este principio de funcionamiento definido por Arsonval es todavía válido. Los gases con bajo punto de fusión, estudiados para sustituir al amoniaco, dan mejor rendimiento que este último, pero el sistema funciona tal y como fue descrito la primera vez.

Existen dos fuentes termodinámicas (una fuente fría: el agua bombeada en profundidad; y una fuente caliente: el agua recuperada en la superficie) y dos intercambiadores de calor (un condensador para licuar el gas al entrar en contacto con la fuente fría, y un evaporador para vaporizar el agua al contactar con la fuente caliente).

El primer ingeniero que intentó verdaderamente construir un recuperador de la energía térmica del mar fue el francés George Claude. En los años treinta intentó varios procesos paralelos con el fin de encontrar el más interesante. Realizó, por ejemplo, un vacío parcial en un circuito de agua de mar, y utilizó para accionar una turbina la vaporización instantánea de esta agua (enfriada anteriormente gracias al agua fría del fondo) cuando entra en contacto con el agua caliente de la superficie. George Claude instaló la primera central de este tipo en 1930, en la bahía de Matangas, en Cuba: el conjunto tenía una potencia de 22 kilovatios, pero fue destruido por un huracán. George Claude realizó otros intentos. Propuso la construcción de otra central, de 40 megavatios esta vez, cerca de Abidján, en Costa de Marfil.

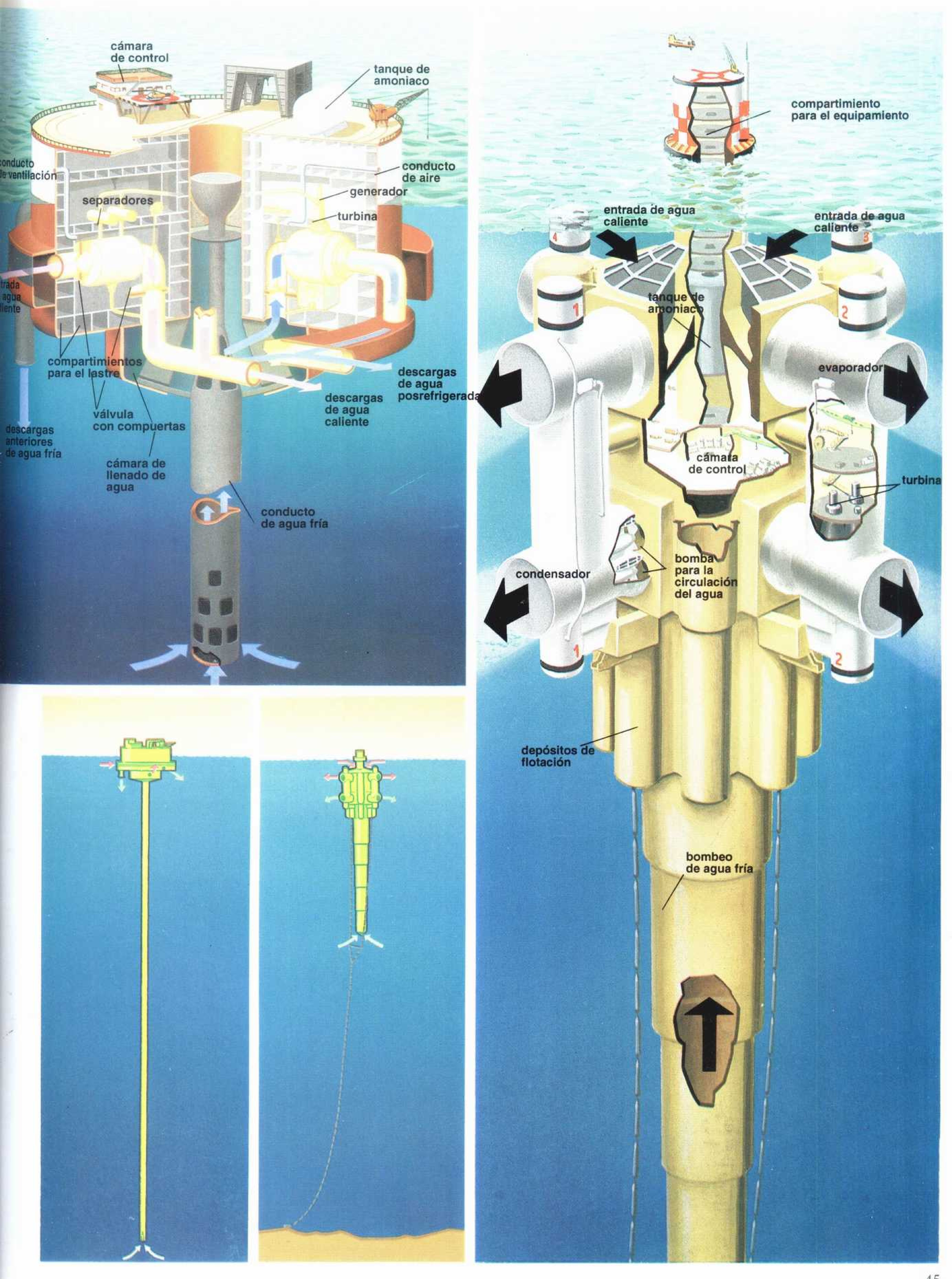
George Claude era un adelantado para su época. Le faltaba para tener éxito el disponer de materiales que pudieran garantizar la solidez de las grandes tuberías en medio del océano (esta fue su principal dificultad técnica). ¡Le faltó también la crisis petrolífera! En un tiempo en que los hidrocarburos estaban casi regalados, su sistema despertó poco interés: los productores de energía no veían ninguna razón para invertir en un material *offshore* costoso y de incierto rendimiento.

Hoy ya no se mira la energía de conversión térmica con tanto desprecio. El rendimiento de cualquier instalación de este tipo depende principalmente de la diferencia de temperatura que existe entre la fuente caliente y la fuente fría. Las centrales térmicas de conversión se deben instalar necesariamente en mares calientes; pero hace falta también que estas cuencas sean lo bastante profundas para que la fuente fría esté a la baja temperatura adecuada. El mar Rojo o el golfo Arábigo-Pérsico, por ejemplo, no son adecuados, ya que no tienen la profundidad suficiente. Los mejores lugares son oceánicos. George Claude lo había comprendido perfectamente al proponer Abidján: para los ingenieros modernos, este lugar sigue siendo de los mejores. El Atlántico tropical, el centro y el este del océano Indico, y también una gran parte del océano Pacífico intertropical, son favorables para implantaciones análogas.

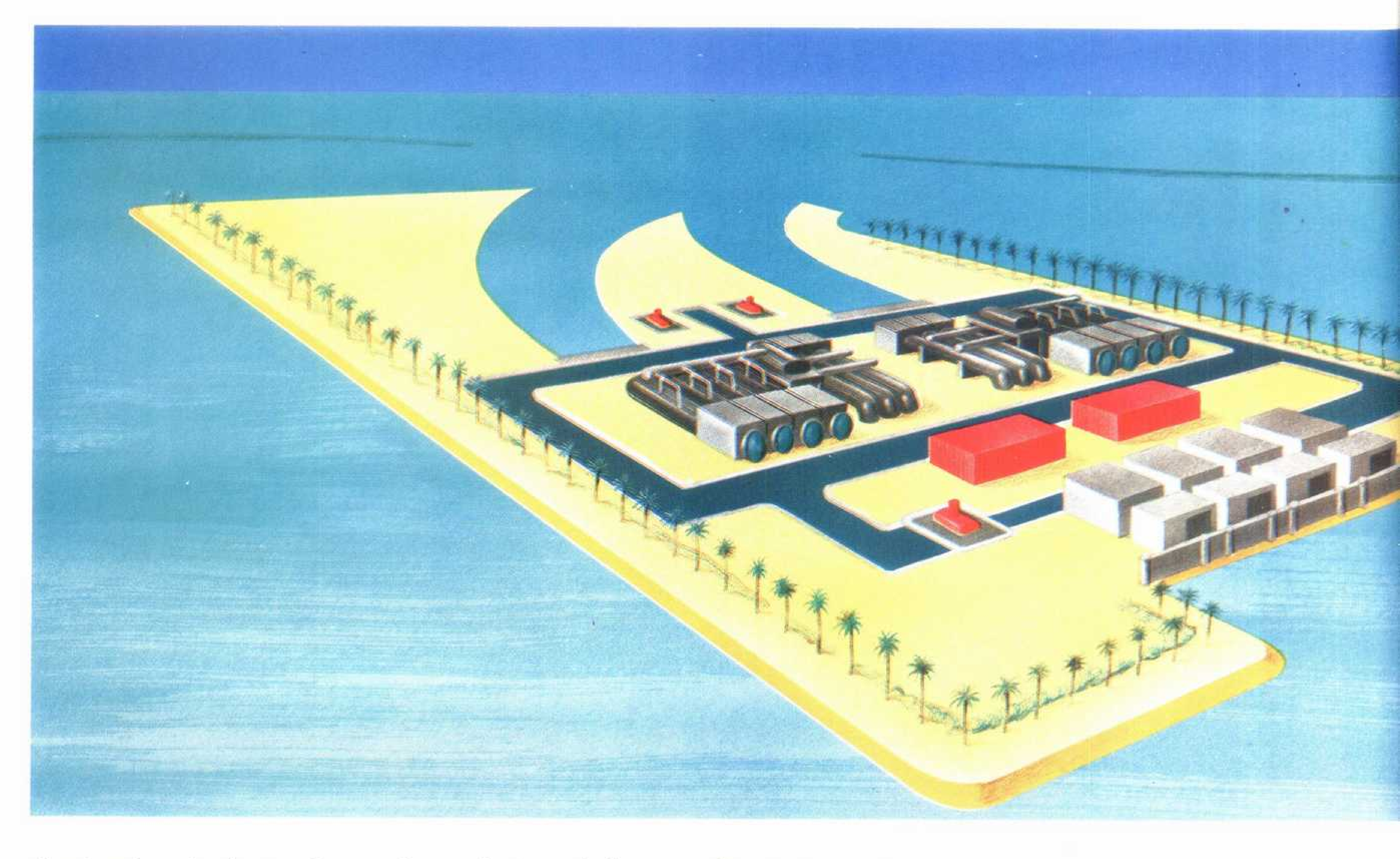
Técnicamente, las cosas avanzan. En Estados Unidos, varias compañías (Westinghouse, Lockeed, T.R.W.) se han interesado por la energía de conversión térmica y reciben el apoyo del Departamento americano de Energía. Francia piensa seriamente en construir una unidad de este tipo en Polinesia.

Entre los compuestos de bajo punto de fusión estudiados, los tres más interesantes son: el amoniaco (citado por Arsonval), el butano y el freón (fluorocarbono muy utilizado en los refrigeradores para un uso perfectamente comparable). En Westinghouse, en 1975, el profesor Zenner estudió las posibilidades del amoniaco y los problemas que se plantean según los metales elegidos como intercambiadores de calor: el aluminio es adecuado para esta tarea, pero el titanio es superior, sobre todo porque resiste mejor la corrosión del agua del mar y los ataques de los animales marinos. La aleación cobre-

Las gramdes empresas están interesadas en la energía de conversión térmica del mar. Página de la derecha, arriba, a la izquierda: el proyecto de la plataforma OTEC, de 10 megavatios, de la sociedad T.R.W. A la derecha: el proyecto de 160 megavatios defendido por Lockeed. Abajo, a la izquierda: la posición de los sistemas.

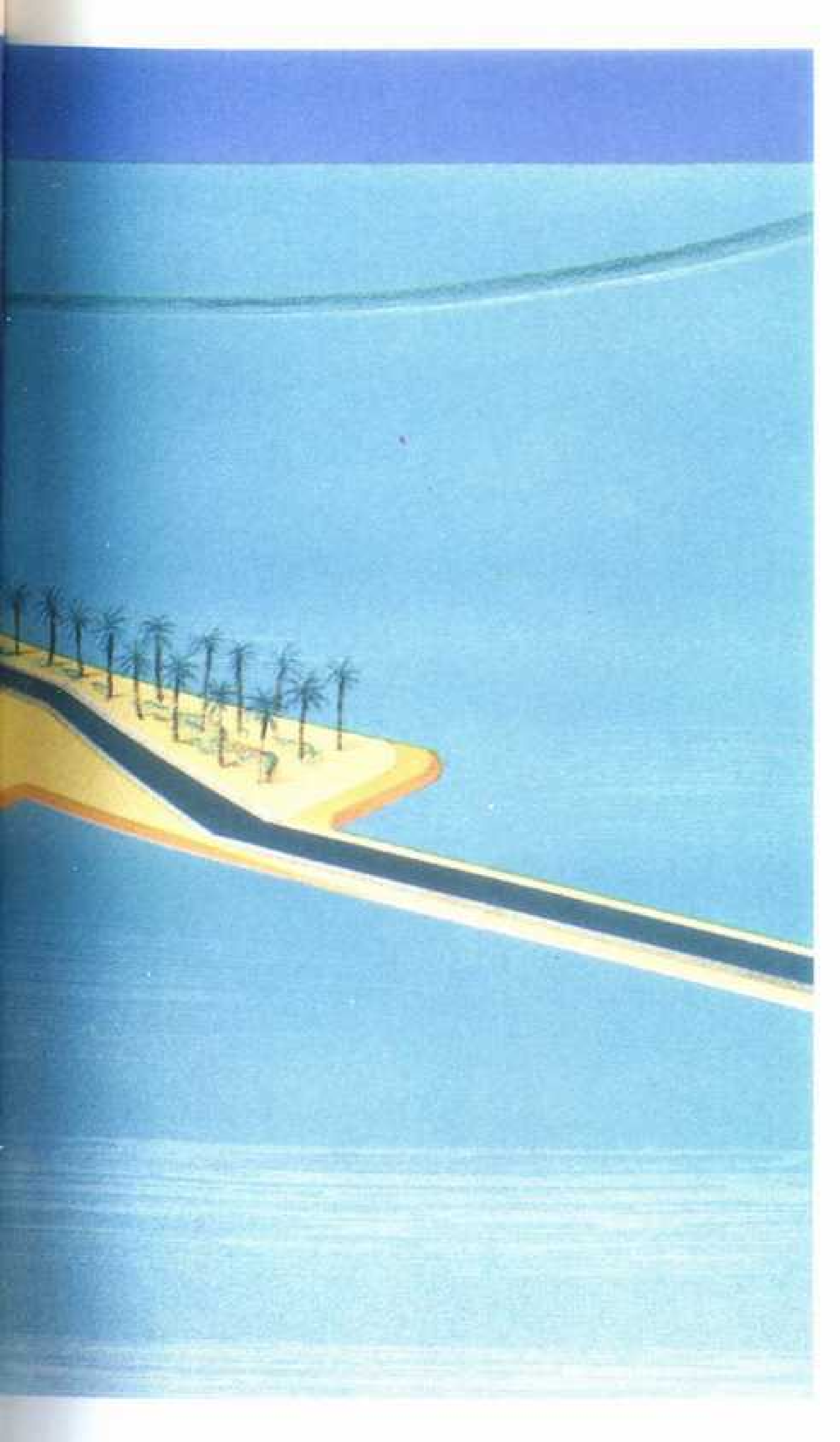


cámara
de control
tanque de
amoniaco
conducto
de ventilación
conducto
de aire
generador
separadores
turbina
compartimientos
para el lastre
válvula
con compuertas
descargas
de agua
caliente
descargas
de agua
posrefrigerada
descargas
anteriores
de agua fría
cámara de
llenado de
agua
conducto
de agua fría
compartimiento
para el equipamiento
entrada de agua
caliente
entrada de agua
caliente
tanque de
amoniaco
evaporador
cámara
de control
turbina
condensador
bomba
para la
circulación
del agua
depósitos de
flotación
bombeo
de agua fría



níquel es la mejor frente a las agresiones biológicas, pero no es compatible con el amoniaco.
Los problemas técnicos que quedan por resolver son importantes. Georges Claude se enfrentó con ellos. Son numerosos y justifican que antes de decidir la construcción de unidades industriales productoras se implanten varias centrales experimentales. Los americanos actúan en este sentido: el Departamento de Energía Solar decidió instalar, a partir de 1979, una estación experimental de este tipo, situada en Ke-Ahole-Point, al noroeste de Hawai. La central, con una potencia de 50 kilovatios, está financiada por un consorcio de tres firmas (Lockeed, Alfa-Laval y Dillingham) y por el estado de Hawai, y sirve para probar el material. En ese país se desarrolla otra experiencia americana, llamada OTEC-1, que consiste en estudiar la resistencia de los transformadores de calor de la futura central frente a la corrosión y la biocontaminación (los intercambiadores en cuestión se instalaron en un buque cisterna del tipo *T-2)*.
Otros proyectos se están estudiando, especialmente en el golfo de México y frente a las costas de Florida. Los americanos prevén que la primera central OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) funcionará antes del año 1990 y proporcionará una potencia de 400 megavatios, comprable a la de una central nuclear de la primera generación, con capacidad para suministrar energía eléctrica a 100.000 hogares.

La energía de conversión térmica marina ofrece unas posibilidades enormes. Si de verdad lo queremos, ella sola puede cubrir nuestras necesidades de electricidad en el año 2000.
Esta energía tiene la enorme ventaja de ser renovable (es simple energía solar bajo otra forma) y limpia. Puede combinarse fácilmente con otros modos de explotación de los recursos marinos, aunque se trate de riquezas energéticas, minerales o vivientes.
El doctor Green describió en 1970 lo que podría ser una extraordinaria fuente de riquezas submarinas, en la región de Lynn, en el corazón del Pacífico (latitud: 0º; longitud: 134º 48′ Oeste). Es un lugar privilegiado, donde la corriente submarina de Cromwell se dirige desde el oeste hacia el este con una velocidad que alcanza 1,50 metros por segundo. Podríamos pensar en instalar en este lugar unos recuperadores de energía de las corrientes (turbinas de paletas o con flujo axial del tipo «Kaplan») que estuviesen acoplados a una central de conversión térmica situada en una plataforma flotante en la superficie.
El grupo de turbinas destinadas a recuperar la energía de la corriente de Cromwell podría suministrar una potencia de 6.000 kilovatios.
La diferencia térmica entre la superficie y los 1.000 metros de profundidad en este lugar es del orden de 22 grados, lo que permitiría la instalación de una central de conversión térmica eficaz. Además, las subida de las aguas frías de profundidad podría emplearse para fertilizar las aguas superficiales locales y crear una acuicultura floreciente, explotando, por ejemplo, las algas gigantes, los crustáceos planctónicos y varias especies de peces. Todavía hay más: gracias a la energía disponible se podrían explotar los abundantes barros de globigerinas, localizados en la región de Lynn, que proporcionarían hidruros de magnesio, que pueden emplearse como carburante o para la producción de compuestos químicos. La capacidad térmica de los océanos, casi sin límite, es una fuente de energía privilegiada.
La implantación de centrales marinas de conversión térmica puede tener repercusiones en el plano ecológico. Por ejemplo, pueden producirse fugas de amoniaco o, si se utilizan gases, de freón, que dañarían las capas de ozono de la atmósfera alta. Las canalizaciones, invadidas por los organismos marinos, deben limpiarse, para lo cual se utiliza generalmente cloro, muy tóxico (se limpian de la misma forma las centrales —térmicas o nucleares— que utilizan agua de mar como líquido refrigerante). Pero el efecto más significativo de las centrales de gradiente térmico es el relacionado con la subida de las aguas profundas: el principio de funcionamiento de estas centrales implica llevar a la superficie grandes cantidades de agua fría procedente de los abismos. Pero muchos oceanógrafos piensan que esto las modifica para mejorar, ya que es en las regiones de subida de aguas profundas donde el mar se muestra más rico.



Las centrales térmicas marinas. El esquema de arriba muestra un proyecto de central térmica oceánica elaborado por un equipo francés del C.N.E.X.O. El conjunto lleva cuatro grupos de evaporadores y de condensadores, y es especialmente adecuado para las islas de coral: el agua caliente se bombea en el interior del lago y el agua fría en el exterior de la barrera de coral. En esta página, el dibujo y la fotografía representan una central térmica experimental americana que funciona en aguas de Hawai: la Mini-Otec, de 50 kilovatios de potencia.

reserva de amoniaco
cámara de control
separador de vapor
intercambiador de calor
generador Diesel
turbina y generador
descarga de agua
MINI OTEC

La energía de las olas





EN Estados Unidos, en Gran Bretaña, en Francia, en Japón, en Suecia, continúan las investigaciones para la domesticación de la energía de las olas. Es un viejo sueño.

La energía desplegada por las olas en las costas nace de la energía de la marejada que el viento pone en movimiento desde alta mar. Las ondas del oleaje no tienen siempre la misma amplitud. En algunas regiones de la Tierra son más regulares y más fuertes que en otras.

Se han calculado las dispersiones medias de la energía de las olas en las costas. En Noruega, en Escocia, en ciertas regiones de Estados Unidos, en Bretaña, etc., están incluidas entre 10 y 100 kilovatios por metro de costa. En ciertos casos pueden llegar al megavatio por metro de costa. Si se consiguiera domesticar 10 kilovatios por metro, una porción de costa de 100 kilómetros sería equivalente, en potencia instalada, a una central térmica o nuclear.

En este siglo se han estudiado diferentes sistemas de recuperación de la energía de las olas. La mayoría están basados en el movimiento de un flotador, y en la transformación de este movimiento en energía eléctrica.

Los modelos llamados bidimensionales se caracterizan por unos sistemas de absorción de energía constituidos por unos ejes principales perpendiculares a la dirección del movimiento de la ola. Un modelo bidireccional ideal puede absorber el 100 por 100 de la onda incidente. Se están probando actualmente tres sistemas de este tipo.

El primero está constituido por una paleta en forma de cuña, que oscila en sentido vertical bajo la influencia del oleaje. El segundo, ideado por S. H. Salter, de la Universidad de Edimburgo, es el *came Salter,* basado en el mismo principio que el motor de rotación. El tercer sistema bidimensional consiste en un flotador cilíndrico sumergido, que tiene la ventaja de no estar sometido a los destructivos golpes de las olas. Los autores son D. V. Evans y sus colegas de la Universidad de Bristol.

Los modelos tridimensionales presentan unos amortiguadores del oleaje. Se pueden comparar con pequeñas islas flotantes móviles o a boyas. Los amortiguadores de punta pueden concentrar la energía incidente de la mitad de la longitud de onda total, si esta energía es rápidamente absorbida en movimientos verticales u horizontales.

En la Universidad de Chalmers, en Suecia, se están realizando grandes esfuerzos para aplicar los sistemas tridimensionales a la producción de energía del mar Báltico. Se está intentando poner a punto unos dispositivos que permitan obtener resonancia de las ondas del oleaje, amplificando los movimientos verticales de un flotador en relación a un punto de flotación, a un muelle fijo o a una estructura anclada en el fondo del agua. El más famoso de estos flotadores no fue experimentado en Suecia, sino en Inglaterra: está asociado a una plataforma flotante



La energía del oleaje y de las olas. *El motor de oleaje de la página anterior, a la izquierda, utiliza la energía de estas ondas para poner en movimiento los cajones, que, al oscilar, accionan los pistones. Página anterior, a la derecha: a, un generador unidireccional cuneiforme; b, una leva* Salter; *c, la onda unidireccional generada por el movimiento orbital de un cilindro sumergido. En esta página, el dibujo de arriba muestra una batería de levas del tipo* Salter *actuando sobre una turbina. En el dibujo de aquí, a la izquierda, se representa otro procedimiento basado en las oscilaciones de una serie de plataformas flotantes.*

dirección
de las olas

turbinas

construida por la sociedad Wavepower Limited.

Los británicos experimentan con otro dispositivo llamado neumático. La empresa que se ocupa de estas investigaciones es la Nation Engineering Laboratory, que asiste a la Vickers Corporation. Este sistema está basado en una columna de agua oscilante regulada por el movimiento ondulatorio oceánico. La masa de agua es tal que puede entrar en resonancia sintónica con las ondas del oleaje incidente. El aire comprimido que se encuentra encima de la columna de agua acciona las paletas de una turbina. Un dispositivo parecido a éste se está ensayando (aunque la cámara de aire es horizontal) en el flotador japonés *Kaime,* actualmente en construcción en el mar de Japón.

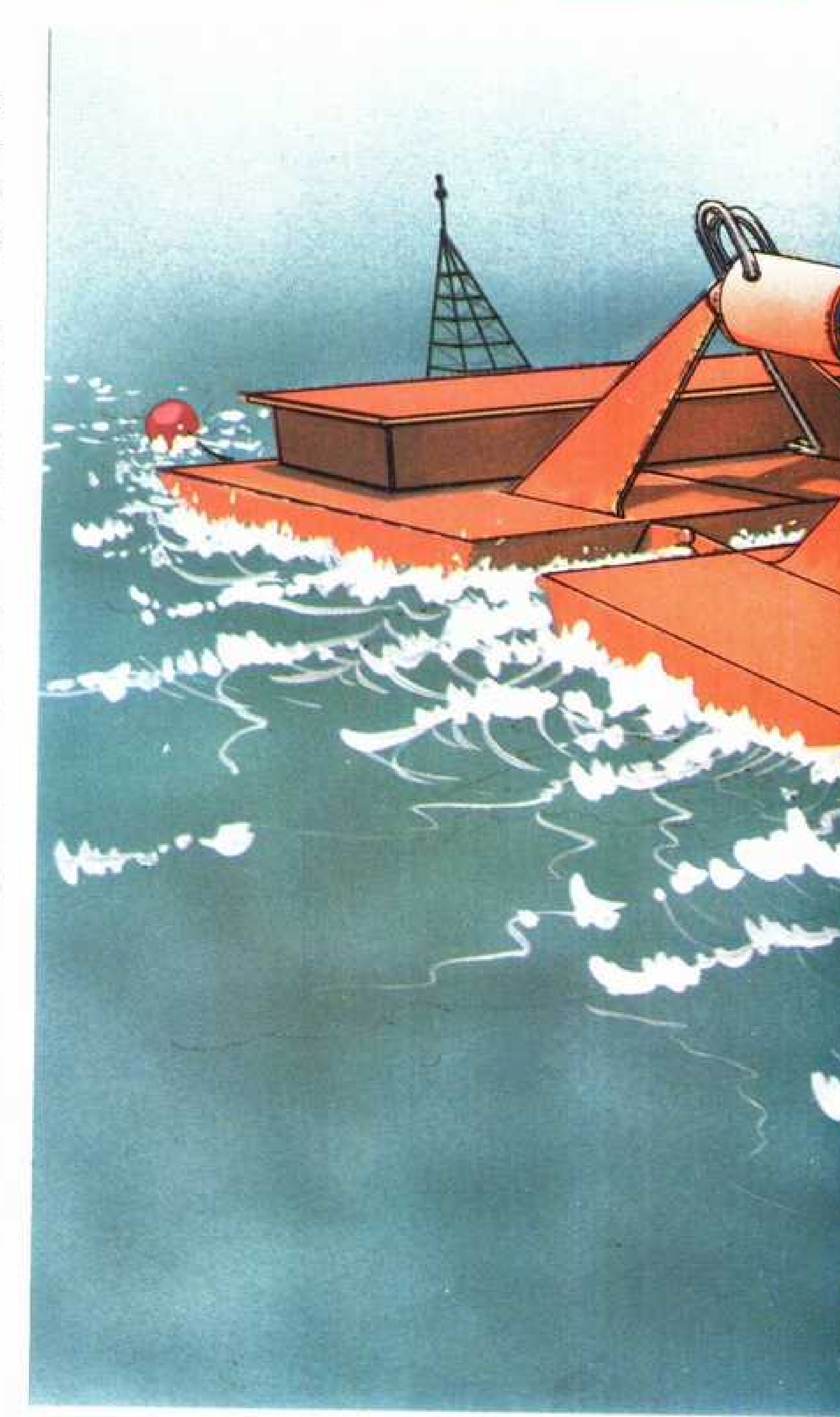
Otro sistema, más simple que los precedentes, se estudia en Estados Unidos y en Noruega. Se trata de un colector de energía con forma de cono: en la cumbre del colector, unas paletas giran por la fuerza de las olas y arrastran un alternador. Las ventajas de este sistema son su buena estabilidad y resistencia a las tempestades.

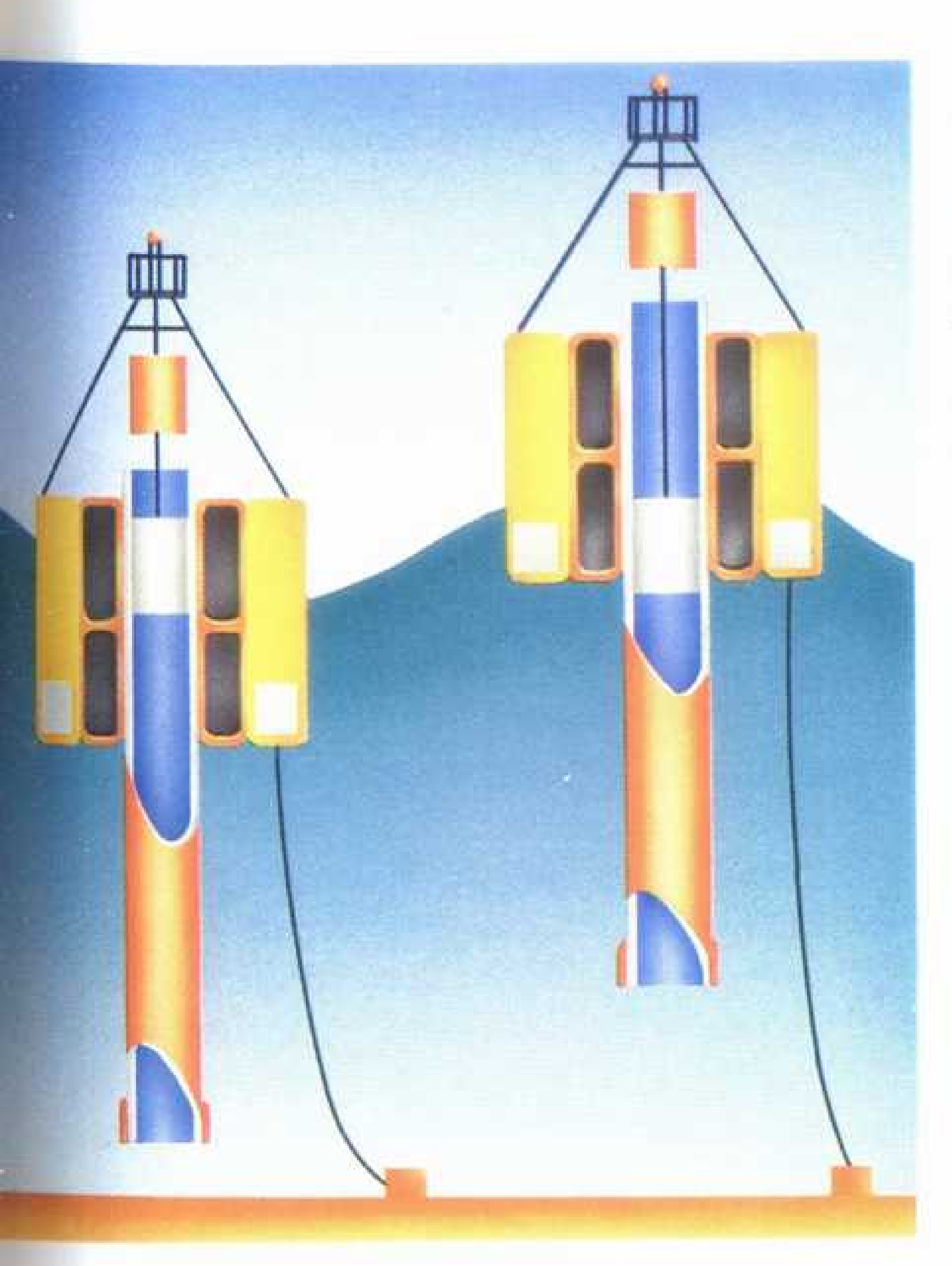
La mayoría de los dispositivos destinados a recoger la energía de las olas y del oleaje tiene como fin la producción de electricidad. Sin embargo, existen sistemas mixtos que pueden funcionar como aparatos para eliminar la sal del agua de mar.

El sistema ideado por C.M. Pleas, de la Universidad de Delaware, utiliza un amortiguador de ondas para accionar una bomba marina de alta presión, que está sumergida y acoplada a un cilindro obturado por una membrana semipermeable. La presión obtenida en la bomba permite realizar una ósmosis inversa, es decir, hacer pasar el agua dulce al otro lado de la membrana.

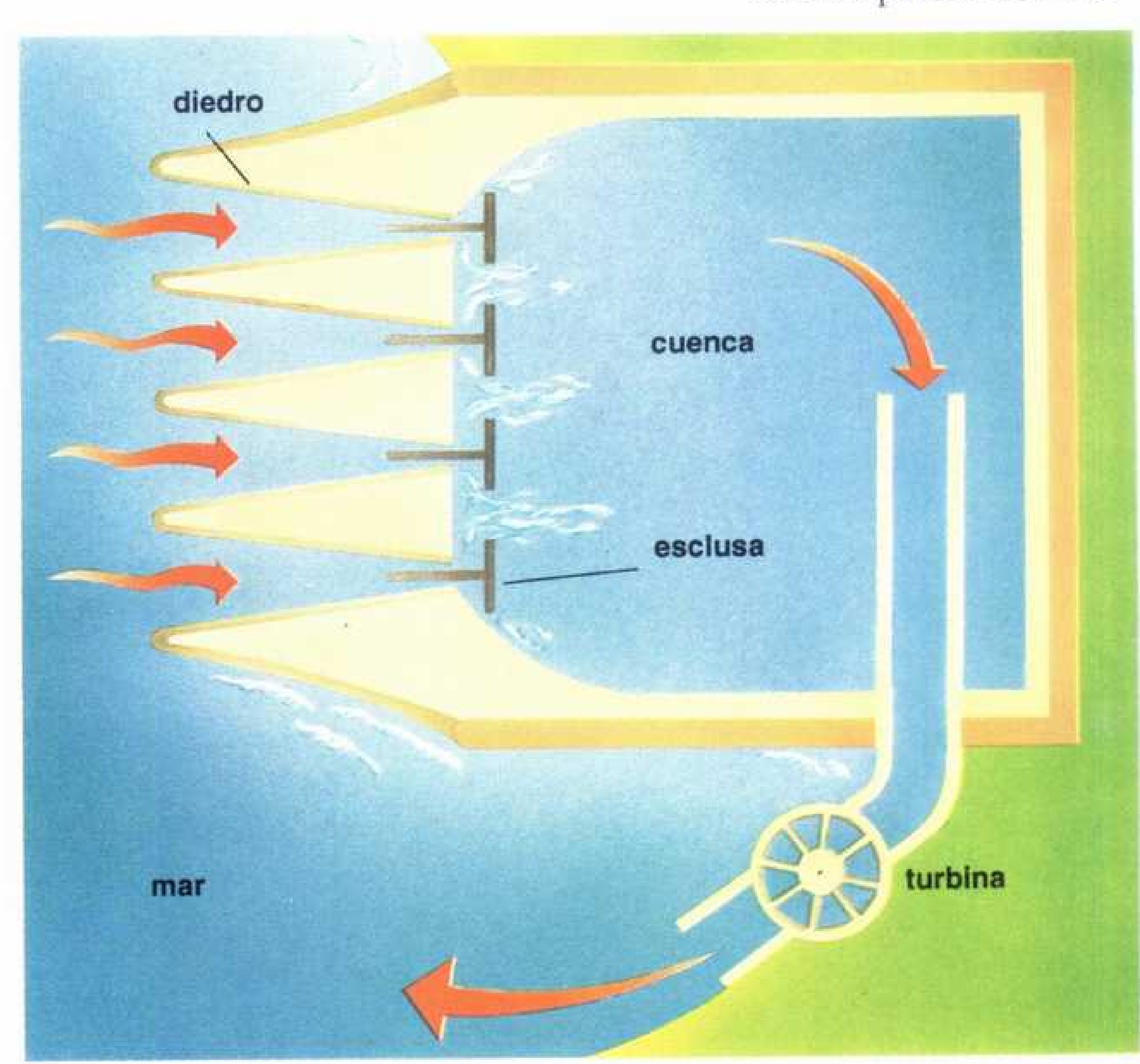
Gracias a un aparato de este tipo se ha calculado que se podría producir con la energía de las olas aproximadamente 100 litros de agua dulce por metro de costa equipada.

La energía de las olas y de la marejada es energía eólica bajo otra forma: para su explotación nos encontramos con los mismos problemas que la eólica. Es probable que estas formas de energía natural, renovables y no contaminantes, deban ser explotadas localmente a pequeña o mediana escala, con ayuda de materiales y tecnología muy modernos.





Unos sistemas revolucionarios. *Página de la izquierda: el proyecto* Lockheed *del* Dam-Atoll*: las olas entran por la parte superior de la estructura. En esta página, a la izquierda, se ha dibujado un motor de oleaje simple, utilizando las ondas para accionar un pistón. Aquí, a la derecha, aparece un complejo sistema de cuencas y de esclusas. Abajo se muestra el sistema* Cockerell, *que consiste en una serie de balsas articuladas entre sí en las que la energía de las olas se convierte en energía eléctrica por medio de una serie de bombas hidráulicas.*



generador
bomba
bomba
bomba
cable
de anclaje

La energía de las corrientes marinas

EL formidable potencial de las corrientes marinas puede ser parcialmente domesticado y servir para satisfacer una parte de las necesidades humanas de energía. Para la cual se debe instalar en el lecho mismo de estos ríos del mar unas grandes turbinas hidráulicas... Las técnicas indispensables para esta domesticación se están estudiando desde hace varios años. Los lugares donde se podrían instalar estos artilugios se conocen perfectamente. La corriente del Golfo, o Gulf Stream, cuando se extiende a lo largo de Florida, desarrolla una energía 50 veces superior a la de todos los ríos de la Tierra. Aunque sólo se recuperara una pequeña parte, se conseguiría una potencia instalada impresionante.

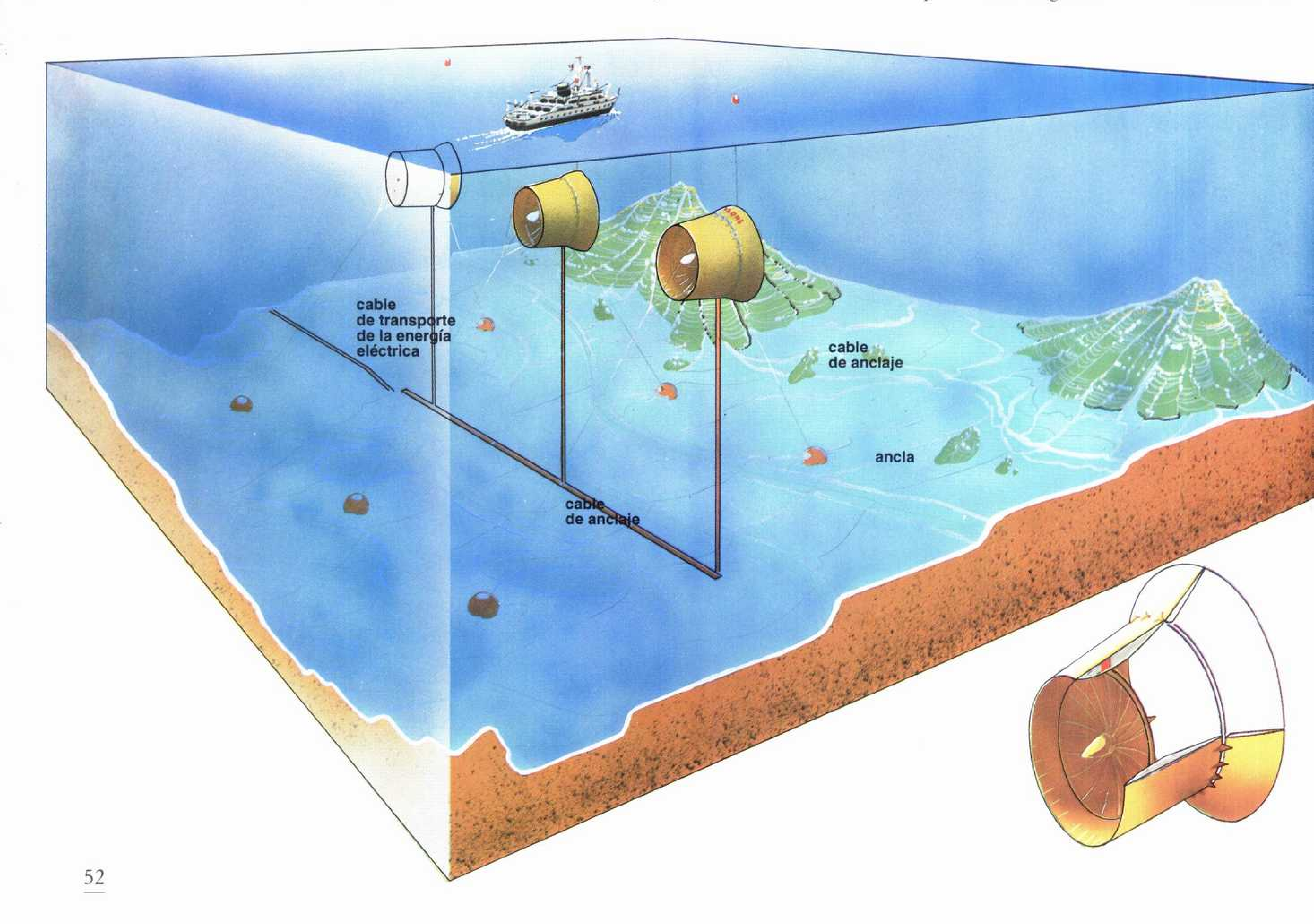
Corrientes parecidas existen en todos los océanos. Son debidas a los vientos, a los movimientos geotrópicos y, causa última, a la fuerza de Coriolis. El Kuro Shivo, que circula cerca de Japón, desarrolla una potencia comparable a la corriente del Golfo. Se podrían también explotar provechosamente corrientes como la que pasa entre la Antártida y la Patagonia, en el estrecho de Drake: pero las necesidades de energía de Estados Unidos, muy superiores a las de Argentina y Chile, harán que se explote la corriente de Florida mucho antes que ésta.

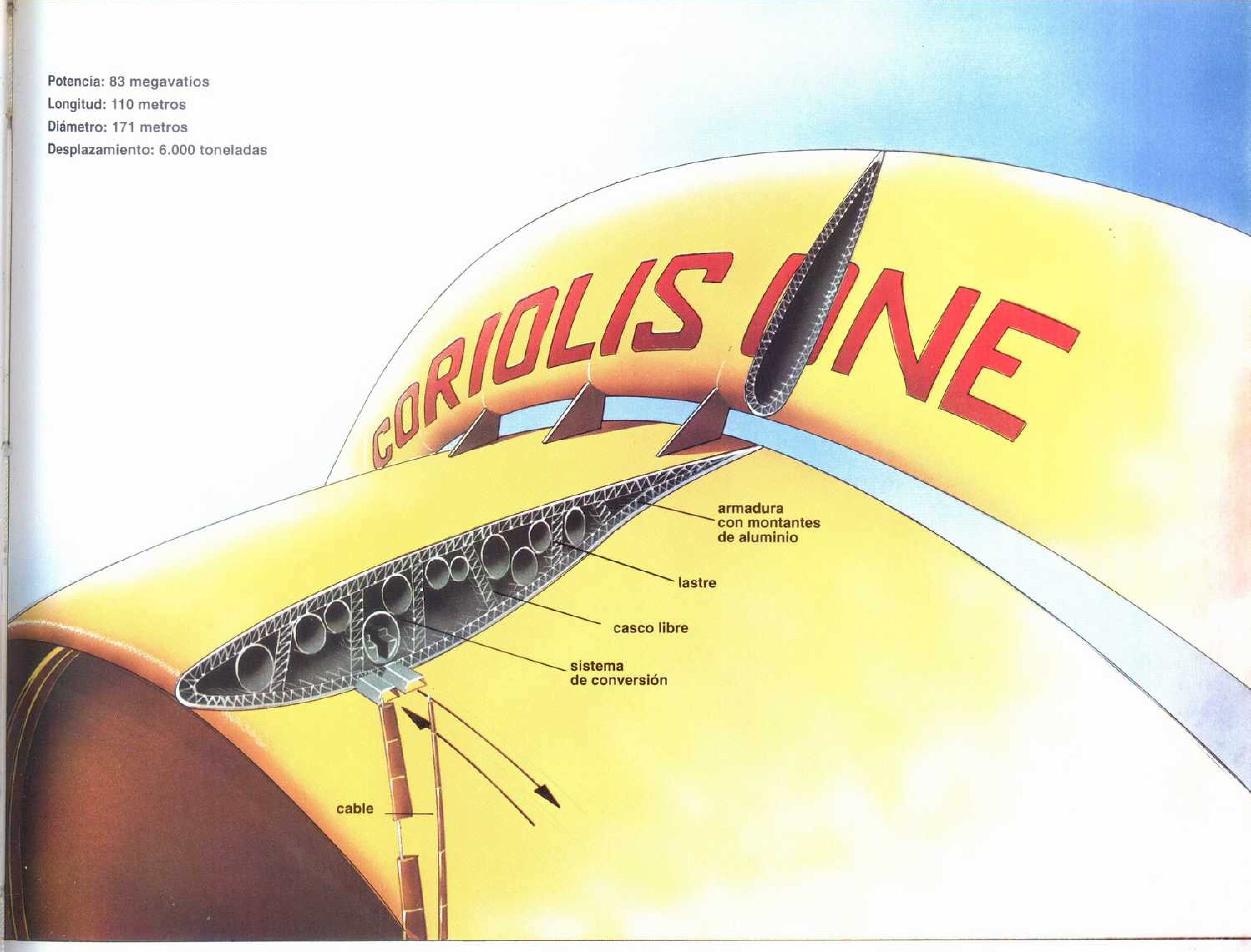
Aparte de las grandes corrientes en las que participan los océanos enteros, existen bastantes minicorrientes, a veces muy violentas, especialmente entre unas islas y un continente cercano, que una vez canalizadas podrían dar lugar a una explotación local provechosa.

La corriente del Golfo, sin embargo, atrae a los técnicos y ha estimulado su imaginación. Entre los numerosos proyectos de utilización de esta enorme masa de agua en movimiento, destaca el de William J. Mouton, de la Universidad Tulane, en Luisiana, presentado en 1973. En colaboración con D.F. Thompson, el profesor Mouton desarrolló su proyecto inicial y obtuvo en 1975 una financiación del industrial Water Hajduk, de la firma Hydro Energy Associates.

Una de las preocupaciones principales del proyecto Mouton-Thompson es la de los eventuales impactos de una turbina o de una serie de turbinas sobre el equilibrio termodinámico global que regula el movimiento de la corriente del Golfo. El programa, denominado *proyecto Coriolis*, comenzó por un profundo estudio de los eventuales efectos de una instalación sobre el entorno. Para llevar a cabo sus investigaciones, Mouton y Thompson utilizaron los trabajos realizados en los años cincuenta por Walter Munk, de la Scripps Institution of Oceanography. El punto central de sus preocupaciones fue determinar qué fracción de la potencia de la corriente podía recuperarse sin afectar al equilibrio general de la circulación acuática en el Atlántico norte. Los investigadores estudiaron el papel del viento en la iniciación de la corriente, así como las fuerzas de fricción que naturalmente se oponen a su desplazamiento (el frenado se produce en toda la superficie del fondo del mar que barre la corriente; la velocidad del agua no es la misma en la superficie y en el medio que en los bordes y en el fondo).

Fueron propuestos varios modelos, y los especialistas llegaron a la conclusión de





El «proyecto Coriolis». Una de las proposiciones más interesantes para la explotación de las corrientes marinas, y particularmente de la corriente del Golfo (Gulf Stream), ha sido elaborada por William J. Mouton y D. F. Thompson. Se trata de establecer en el corazón mismo de la corriente una serie de turbinas de gran potencia, ancladas al fondo (como muestra el esquema de la página anterior) por unos cables. El conjunto de las 242 turbinas previstas, con una potencia total instalada de aproximadamente 10.000 megavatios (o sea, diez plantas nucleares) sólo disminuiría la fuerza de la corriente del golfo en un 1,2 por 100 y sería limpio y ecológico. El dibujo de arriba, en esta página, muestra la estructura interna de la periferia de una turbina Coriolis.

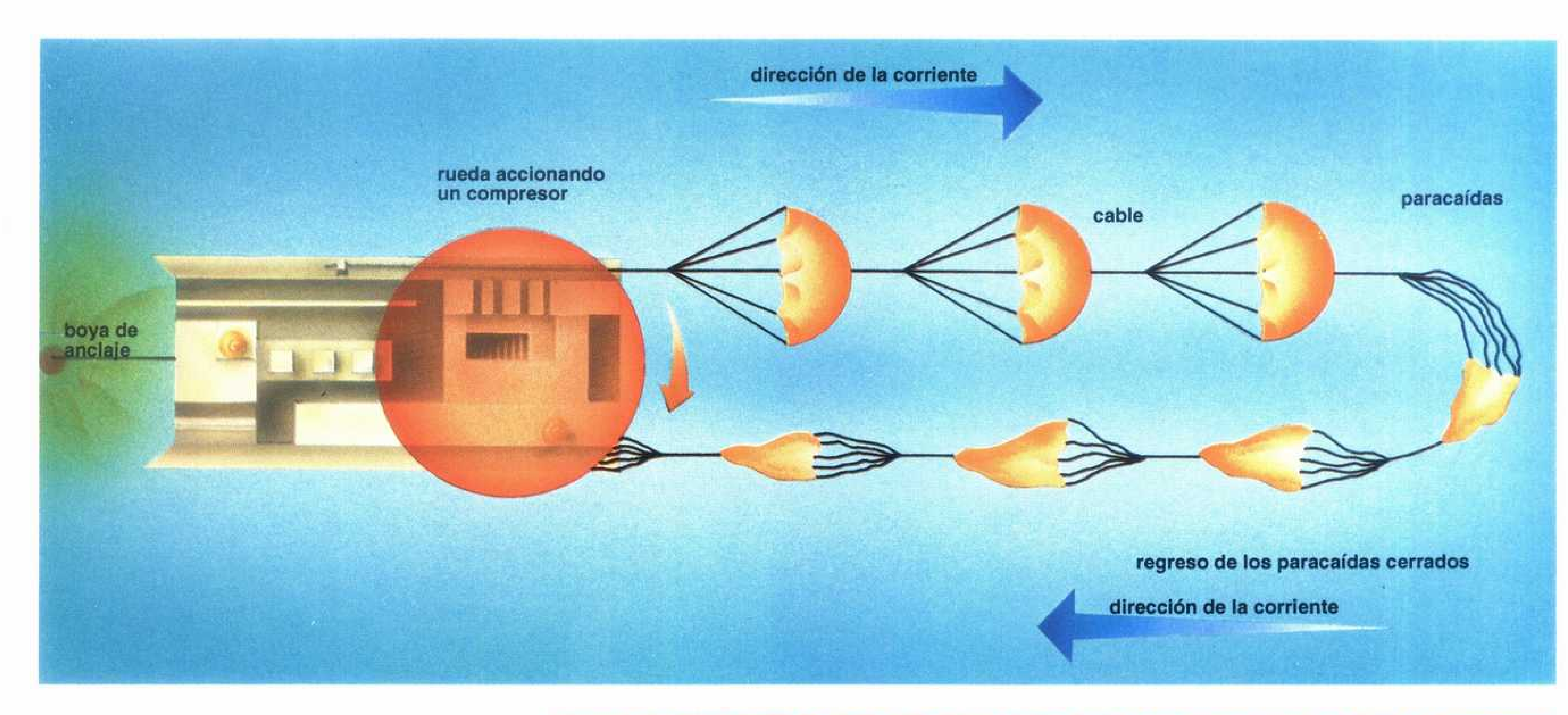
que si se recuperaba el equivalente a una potencia instalada de 10.000 megavatios, es decir, diez grandes plantas nucleares, la velocidad del Gulf Stream sólo disminuiría un 1,2 por 100, lo que parece despreciable y no perjudicial para los equilibrios generales de la circulación océanica.

Bajo su forma más elaborada, el proyecto de la corriente del Golfo se presenta de esta forma: se establecería en el centro mismo del río oceánico, donde es mayor la velocidad, un conjunto de 242 turbinas de 83 megavatios cada una, lo que daría en total una potencia instalada de 1.000 megavatios. Cada turbina, con un diámetro de 171 metros, se mantendría sujeta por unas anclas de 5,4 toneladas cada una y por unos cables de acero de varios kilómetros de longitud. Las turbinas se sumergirían a 40 kilómetros de las costas de Florida, donde la corriente es más fuerte: alcanza 40 nudos y haría girar las paletas una vez por minuto. Esta considerable energía podría satisfacer una parte importante de las necesidades eléctricas de Florida, y sustituir la producción de un conjunto de centrales térmicas que consumen anualmente 130 millones de barriles de petróleo. Según los expertos, el precio de coste del kilovatio hora sería sensiblemente inferior al del kilovatio hora nuclear.

Los problemas técnicos relacionados con la implantación del *proyecto Coriolis* han sido todos prácticamente resueltos.

El proyecto prevé que las turbinas se instalen en unos conductos asimétricos ensanchados: estudios llevados a cabo recientemente han demostrado que este dispositivo permite recuperar dos o tres veces más energía que con una turbina libre ordinaria. Esta constatación no sólo es válida para las turbinas de agua, sino también para las que se accionan con otros fluidos, especialmente por el viento.

El mecanismo central del *proyecto Coriolis* consiste en un rotor central de dos fases, formado por un conjunto de turbinas girando en sentido inverso la una de la otra, accionadas por la corriente de la misma forma que el viento mueve las paletas de un molino eólico. Las turbinas se conectarían a un generador eléctrico instalado en la zona hueca que forma su centro. En esta parte hueca también se instalarían los aparatos de control. El transporte de la energía hacia la tierra fir-



Las nuevas ideas. Los proyectos de recuperación de la energía de la corriente del Golfo son numerosos. El esquema de arriba nos presenta uno de ellos: se trata de utilizar la fuerza de tracción de la corriente actuando sobre una serie de paracaídas, según la idea del profesor Gary Steelman. La corriente del Golfo, de la que vemos aquí a la derecha una imagen en falsos colores tomada por un satélite artificial, es una de las más extensas y potentes del planeta.




me se realizaría simplemente por cables submarinos. Pero, igual que para otros sistemas de recuperación de la energía del mar, se podría, en vez de transportar la electricidad, utilizarla para producir otras formas de energía más fácilmente almacenables, como el amoniaco, asociando la canalización de la corriente a los cultivos de algas, o el hidrógeno, procediendo allí mismo a la electrólisis del agua de mar.

El *proyecto Coriolis* está apoyado por una serie de subvenciones del Departamento americano de Energía. Pero no es el único que tiene como fin la domesticación de la energía de las corrientes. Países como Japón, que poseen no muy lejos de sus costas corrientes rápidas, y que tienen grandes necesidades de energía, se ponen a trabajar y estudian las posibles soluciones. A los japoneses les gustaría poder canalizar el gigante Kuro Shivo y también las pequeñas corrientes que pasan entre sus islas.

Sin embargo, es la corriente del Golfo la que más fascina a los investigadores. Gary Steelman ha ideado una nueva y prometedora técnica para su domesticación. Se trata de una especie de noria de paracaídas submarinos. La idea principal de funcionamiento de este dispositivo es sencilla: una serie de paracaídas atados a un único cable, en circuito cerrado, se sumerge en la corriente; los paracaídas se abren cuando el flujo les golpea por detrás y se cierran cuando llegan al extremo de la elipse formada por el cable, retornando luego cerrados a contracorriente. El movimiento de los paracaídas abiertos permite accionar un compresor instalado a bordo de un barco y producir electricidad.

Si el principio de funcionamiento de esta noria parece sencillo, la puesta en marcha y el desplazamiento de los paracaídas no lo son tanto. No sería extraño que las lonas acabaran por liarse, por lo que, para evitar este accidente, el cable debería estar regularmente rígido, pero esta solución plantearía nuevos problemas, especialmente de fiabilidad mecánica.

El lugar más adecuado para explotar la fuerza del Gulf Stream y de otras corrientes no es la superficie, sino el fondo del mar, por evidentes razones de seguridad para la navegación. Existen proyectos en los que auténticas fábricas instaladas en el suelo oceánico utilizarían la fuerza del río marino para fabricar energía eléctrica. Pero estas instalaciones no se pueden construir en todos los lugares, por la sencilla razón de que algunas corrientes son sólo superficiales; las tecnologías para realizar este tipo de instalación son más caras que las de los barcos o las islas flotantes.


Guerra y paz
en los
océanos

Los institutos oceanográficos

1. Estación biológica de Murmansk
2. Instituto Oceanográfico de Sirchov
3. Estación marina de Sebastopol
4. Estación de Biología Marina de Al Gurdaqah
5. Estación de Eliat
6. Estación biológica de Oslo
7. Estación zoológica de Kristineberg
8. Centro de Goteborg
9. Biologische Anstalt Helgoland
10. National Institute of Oceanography
11. The Laboratory Plymouth
12. Estación Biológica de Roscoff
13. Museo Oceanográfico de Mónaco
14. Laboratorio Arago de Banyuls-su-mer
15. Stazione Zoologica de Nápoles
16. Laboratorio de biología marina de Helsingor
17. Estación de biología marina de Misaki
18. Estación de Townsville
19. Estación de Heron Island
20. C.S.I.R.O. de Cronulla
21. Estación de Leigh
22. Estación de Kaikoura
23. Laboratorio de investigaciones marinas de Terranova
24. Woods Hole Institute
25. Bramfield Marine Station
26. Universidad de Washington
27. Universidad de Oregón
28. Bodega Marine Laboratory
29. Scripps Institution of Oceanography
30. Universidad de Texas
31. Institute of Marine Science
32. Rosenstichl de Florida
33. Smithsonian Tropical Research Station
34. Estación de Investigaciones Marítimas de Margarita
35. Estación de Sao Paulo
36. Estación de Viña del Mar
37. Estación de Concepción
38. Estación de Mar del Plata
39. Estación de Coconut Island

Un instituto oceanográfico es un servicio dedicado al estudio del mar. Los primeros organismos de este tipo fueron simplemente los servicios científicos de los diferentes almirantazgos de los grandes países que tenían una marina. Los primeros servicios geográficos y científicos especializados en el estudio de los océanos fueron los de Portugal y España, en la época de los grandes descubrimientos, y luego los de Francia, Holanda e Inglaterra, en los siglos XVII y XVIII.

Hoy en día, la importancia económica y estratégica de los mares está ampliamente reconocida, y estas organizaciones existen en numerosos países. Los institutos oceanográficos se interesaron primeramente por la cartografía y la hidrografía, así como por otros aspectos susceptibles de favorecer la navegación. Durante mucho tiempo, las informaciones geográficas fueron secretas.

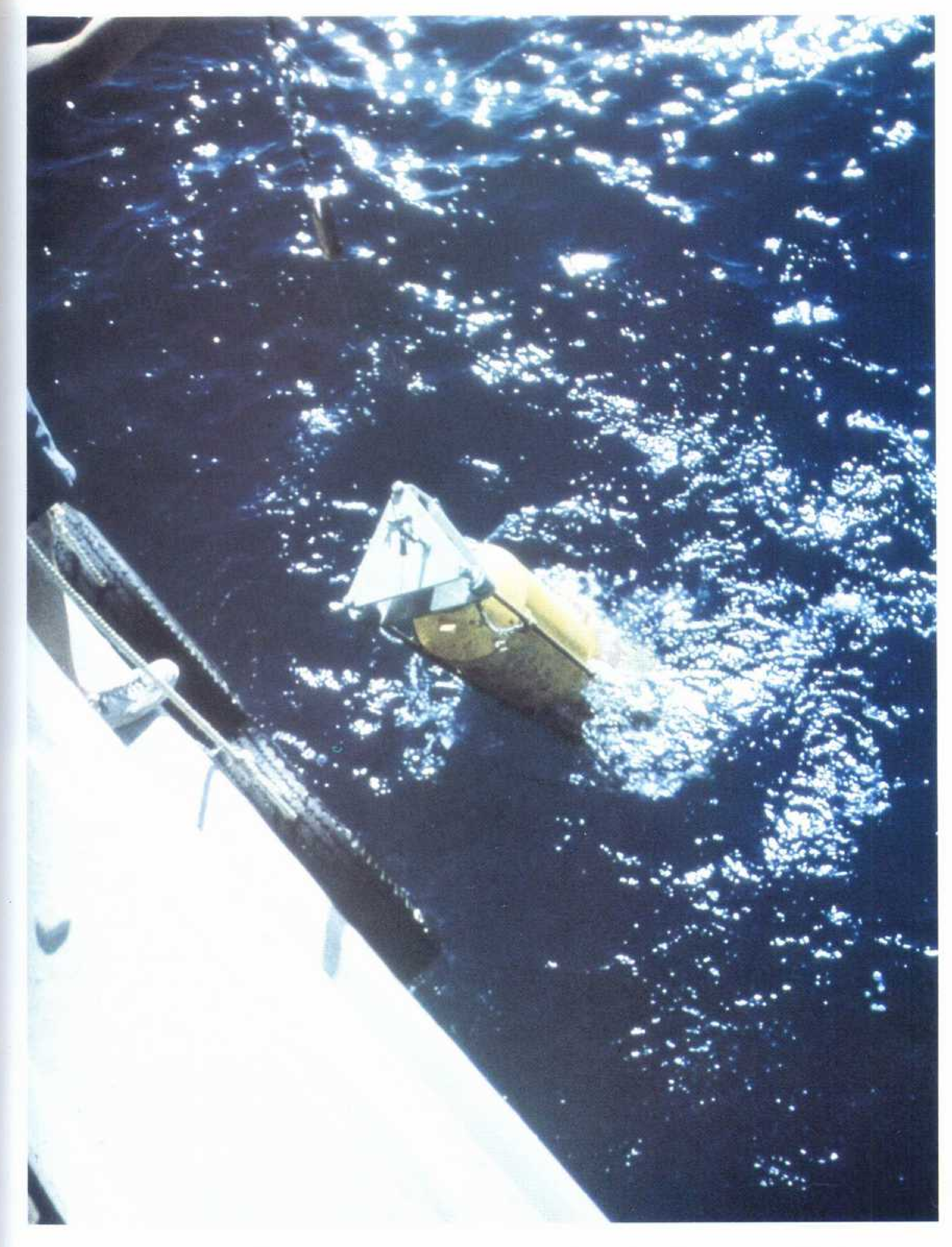
El segundo gran aspecto de las investigaciones oceanográficas, completamente civil, es la pesca. Sin embargo, aquí también hay a veces secretos: por ejemplo, los mejores lugares, descubiertos poco a poco, fueron celosamente explotados por las flotas de los países que los habían localizado. Las investigaciones son ahora más abiertas: los especialistas publican los resultados en revistas que están a disposición del público.

Como es lógico, las investigaciones que obtienen más créditos son las que tienen un interés práctico inmediato: es el caso de las pruebas militares o de las investigaciones que puedan mejorar la pesca.



Pero, poco a poco, la investigación pura, sin ningún fin estratégico o lucrativo inmediato, ha adquirido un gran respeto en oceanografía.

A medida que avanzan las investigaciones y que se inventan nuevos aparatos de detección y de medida, aumenta la especialización. Es bastante sintomático que en la hora actual, por ejemplo, un gran número de datos relativos al mar se obtenga con instrumentos de teledetección instalados a bordo de satélites artificiales. Todos los países interesados en la pesca, la navegación o la búsqueda de nuevas fuentes energéticas o minerales (petróleo, etc.) han efectuado investigaciones oceanográficas más o menos profundas. Los datos recogidos son numerosos; sin embargo, no son todo lo accesibles que el espíritu de la ciencia quisiera. Las informaciones oceanográficas no suelen ser calificadas como secretas por las autoridades de los países implicados, pero los medios de acceder a los bancos de datos (bibliotecas, ordenadores, etc.) son todavía



***El estudio de los mares.** El primer laboratorio marino moderno (si exceptuamos los intentos de Marsigli en el siglo XVIII) se fundó en Concarneau, en la Bretaña francesa, en el año 1859. Hoy, la idea de estos centros, generalmente pluridisciplinares y dotados de medios de investigación cada vez más sofisticados, ha sido adoptada por numerosos países. El mapa de la página anterior sólo cita los principales. Aquí arriba, recipiente para la extracción de muestras de agua. Fotografía de la página anterior: uno de los barcos oceanográficos de la Woods Hole Oceanographic Institution.*

escasos y poco prácticos. Existen, eso sí, algunas instituciones internacionales especialmente dedicadas a la divulgación de estos resultados.
En 1902, en Copenhague, se fundó el Consejo Internacional para la Exploración del Mar. En 1908 le tocó el turno a la Comisión Internacional para la Exploración Científica del Mediterráneo (C.I.E.S.M.). En 1949 nació la Comisión Internacional para los Asuntos de la Pesca en el Noroeste del Atlántico, mientras que en 1921 se fundó en Mónaco el Instituto Oceanográfico como centro de recolección y difusión de todos los datos cartográficos y batimétricos relativos a los océanos. En 1961, la UNESCO, que tiene una oficina para la Oceanografía, creó una Comisión Intergubernamental de Oceanografía.
Los grandes institutos oceanográficos, creados en su mayoría durante la primera mitad de nuestro siglo, han funcionado activamente, aunque casi siempre de forma aislada y con sus propios medios. Las investigaciones actuales son tan complejas, tan difíciles de iniciar y tan costosas por los materiales sofisticados exigidos, que estamos asistiendo cada vez más a la elaboración de proyectos comunes que reúnen a dos o más centros.
No podemos decir que la investigación oceanográfica esté organizada de forma coherente, ya que, si ciertos servicios o institutos están especializados (por ejemplo, en cartografía o en acuicultura), muchos otros siguen siendo polivalentes. Incluso algunos estudios los realizan simultáneamente varios organismos concurrentes.
Es el caso no sólo de los países occidentales, sino también de la Unión Soviética, donde existe un servicio oceanográfico dependiente de la poderosa Academia de las Ciencias, y un Instituto Oceanográfico del Estado independiente de la Academia. Sin embargo, no es seguro que si los programas de investigación estuvieran estrechamente centralizados, vigilados y confiados a tal o cual instituto, evitándose así toda competencia, dieran mejores resultados que los actuales. En Francia, en los años 1950 y 1960, la investigación oceanográfica era extremadamente brillante: un número bastante elevado de pequeños organismos se encargaba de ella, acumulando éxito tras éxito. Se han querido reagrupar todas estas actividades, bajo el pretexto de racionalizarlas, y se ha creado el organismo gubernamental llamado C.N.E.X.O. (Centro Nacional para la Exploración de los Océanos). El resultado ha sido que la investigación ha quedado semiparalizada por el gigantismo y la burocracia, y ofrece ahora, según la opinión general, resultados de menor calidad que cuando se dejaba a los hombres desarrollar sus ideas con plena independencia.
Algunos países tienen tradicionalmente más interés por la oceanografía que otros. Aparte de las naciones de Europa occidental (Francia, Inglaterra, Alemania, Italia) y las del norte de Europa, hay que incluir en este grupo a Estados Unidos, a la Unión Soviética y a Japón. Pero parece que surgen nuevas potencias oceanográficas, como Australia, Nueva Zelanda, China o India.
Japón es el más preparado. Las universidades niponas disponen, en su mayoría, de un activo departamento oceanográfico, y abundan también las empresas privadas que se ocupan de buscar nuevas salidas para los productos de origen marítimo. Los mayores esfuerzos se hacen en el terreno de la pesca y de la acuicultura. En la actualidad, Japón posee verdaderas «fábricas subacuáticas», que producen proteínas de origen vegetal (algas) o animal (peces, moluscos, crustáceos).
Pero la principal potencia oceanográfica sigue siendo Estados Unidos. Las inves-

tigaciones las llevan a cabo universidades o institutos independientes, enteramente responsables de sus programas y de sus fuentes de financiación. Las instituciones americanas están financiadas por capitales privados, a excepción de los centros de investigación que pertenecen a los militares. Ciertas organizaciones, cuyo fin esencial no es el mar, poseen también algunas ramas que se ocupan de la oceanografía.

El Departamento de Comercio controla un centro de investigaciones geodésicas cuyas actividades alcanzan al conjunto de los mares epicontinentales. El cuerpo de ingenieros de la Armada posee un servicio que se ocupa de la morfología y la dinámica de las costas (erosión, protección de las orillas, etc.). Los guardacostas, por supuesto, están también interesados en la oceanografía.

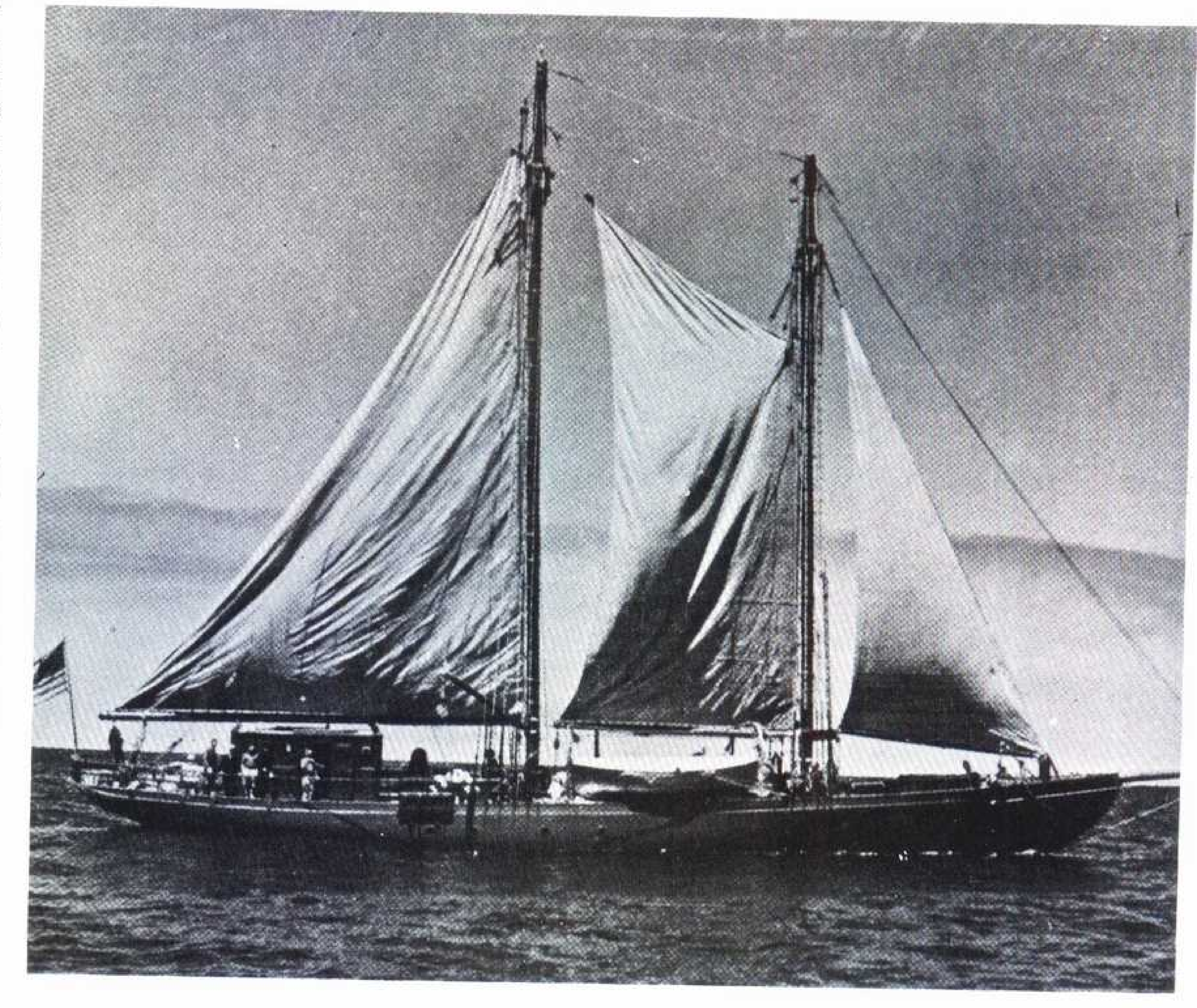
Pero tanto en Estados Unidos como en otros países, la Marina de guerra dirige y financia los principales programas de investigación. Las informaciones sobre los fondos, tanto propios como enemigos, interesan a lo militares, que suelen calificar los datos de secretos. Entre la información recogida por estos institutos militares figura, entre otras, la relativa a las mareas locales.

Los grandes institutos oceanográficos privados americanos, o sus equivalentes en el resto del mundo, se enfrentan a los mismos problemas. El mar es un medio difícil de explorar, y en el que las investigaciones resultan caras. Los barcos oceanográficos son costosos y sus gastos de funcionamiento suelen estar fuera del alcance de los países pobres o de las universidades. Raros son los institutos que pueden adquirir, aparte de un barco oceanográfico, un submarino para investigación, y que además tengan suficiente dinero en su presupuesto para financiar los trabajos de una serie de laboratorios dedicados a diversas disciplinas (oceanografía física, geofísica del suelo del mar, oceanografía química, estudio del plancton, etc.).

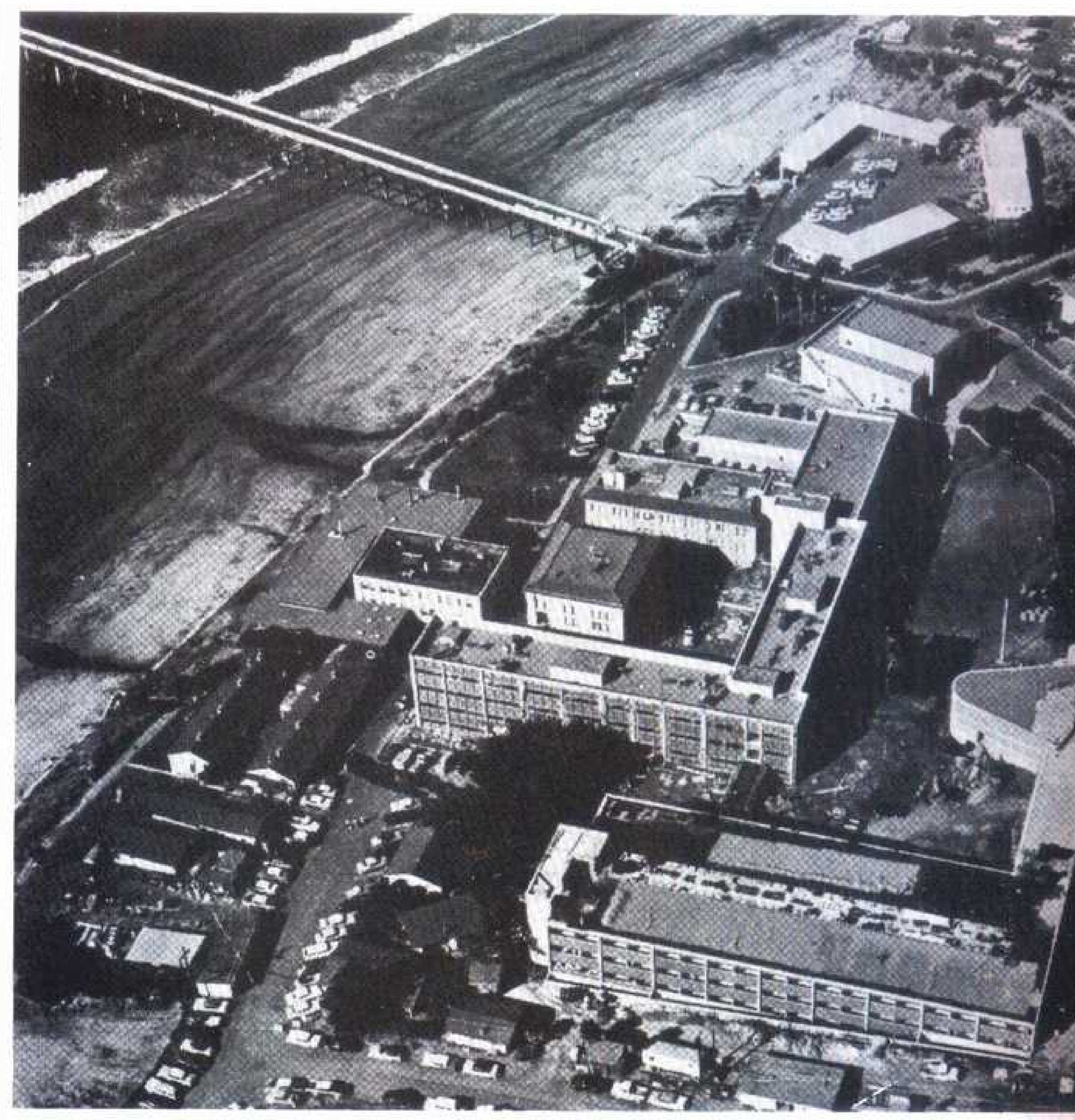
Los grandes institutos (como el Scripps Institution of Oceanography de La Jolla, California, o el Woods Hole Oceanographic de Massachusetts) poseen unos medios técnicos y financieros que están fuera del alcance de las pequeñas unidades de investigación, especialmente de las del Tercer Mundo. Este es un problema científico, pero también político, de interés general. Las naciones que tienen mayor necesidad de progresar en la búsqueda de nuevas fuentes para su alimentación, su industria, etc., son también —como a todos resulta evidente— las que cuentan con menos bases tecnológicas, científicas y financieras para llevar a cabo ese tipo de complejas investigaciones.



***La Scripps Institution of Oceanography** es uno de los más importantes organismos de investigación del mundo. Se fundó en 1903, y su sede está situada en La Jolla, en el estado norteamericano de California. La fotografía de arriba presenta a algunos de los primeros investigadores de este organismo, y data de 1904. Las dos fotografías superiores de la página siguiente muestran el cambio sufrido por los edificios del instituto entre 1916 y 1959. El velero que aparece en la parte inferior de esta página fue adquirido por la Scripps en 1937 y se utilizó en numerosos estudios de oceanografía física, química y biológica. Las fotografías inferiores de la página siguiente representan, arriba, un zapatero (Halobate), el único insecto que se ha adaptado a la alta mar, y, abajo, esqueletos de radiolarios fotografiados gracias al microscopio electrónico.*







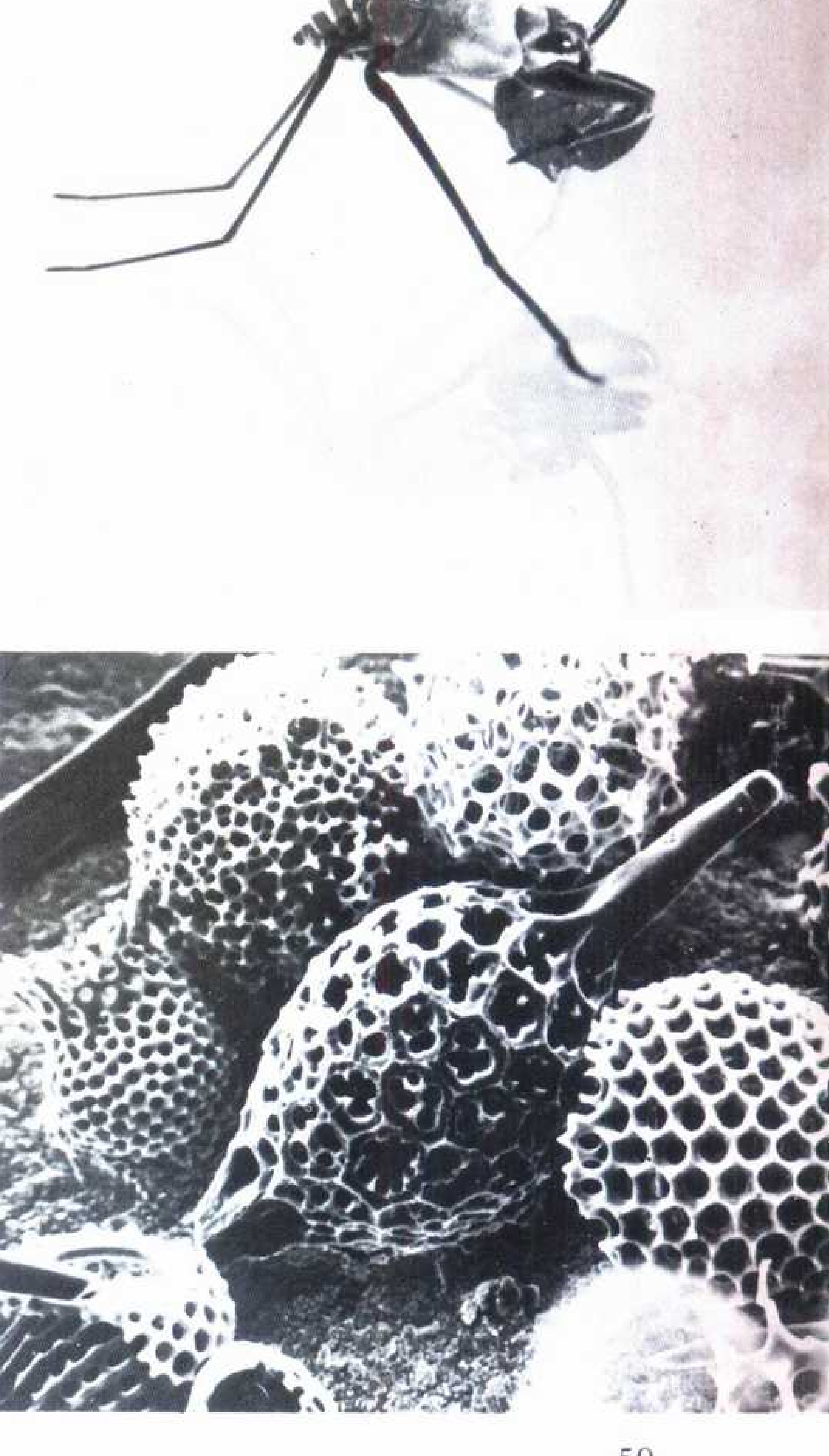
Las organizaciones con los mejores medios siguen siendo las sociedades petrolíferas (privadas o estatales): los presupuestos de estas empresas no se pueden comparar con los de las universidades o los de los institutos sin fines lucrativos, públicos o privados. Los beneficios extraídos del petróleo son tan elevados que justifican las inversiones colosales (barcos de sondeo con posiciones dinámicas, etcétera). Además del petróleo y de los otros hidrocarburos (como el gas natural) existe una fuente mineral que interesa especialmente a los inversores, y que empieza a movilizar importantes medios de investigación: los nódulos polimetálicos. Aunque su explotación no está aún a la orden del día, su importancia estratégica potencial es muy grande. ¡Lástima que lo esencial de los recursos tecnológicos y financieros disponibles para la oceanografía se gaste sólo en la búsqueda de petróleo y nódulos! Los programas de investigación deberían alcanzar a muchas otras riquezas. Estos que siguen son unos cuantos ejemplos:

— El mar es una prodigiosa reserva de energía, no sólo petrolífera, sino térmica, salina y mecánica. Los grandes proyectos de valoración de los gradientes térmicos, de los gradientes de salinidad, de la energía del mar de fondo, de las corrientes, de los vientos, de la biomasa, son en realidad poca cosa comparados con lo que deberían ser.

—El mar es una fuente de proteínas. No se trata solamente de mejorar los rendimientos de la pesca, actividad de simple recogida, anacrónica. En este campo, los institutos de investigación actúan desde hace mucho tiempo. Sería mejor apoyar los estudios de acuicultura, y de acuicultura «popular» más que a la de tipo «elitista».

— El mar es una fuente permanente de vida y salud. Debemos preservarla, y para ello avanzar en nuestros conocimientos sobre productos contaminantes y los efectos de las destrucciones mecánicas (rectificación de las costas, etc.). En el mar surgen numerosas fuentes medicamentosas en potencia, cuya riqueza sólo podemos vislumbrar.

— El mar es un lugar de comercio y de placer para los hombres. Deberíamos saber mucho más para permitir a todos los hombres gozar de él, pero respetándolo siempre. La educación de los turistas y de los diferentes usuarios del océano (armadores, marinos, etc.) debe apoyarse en un conocimiento sin límite del medio oceánico. Todavía estamos lejos de ello.



Los parques submarinos

Los parques submarinos son, en cierto sentido, el equivalente de los parques nacionales o regionales terrestres. Como ellos, su fin es el de preservar porciones más o menos grandes del entorno natural, sustrayéndolos tanto como se pueda a la influencia del hombre, de sus saqueos y de sus contaminaciones. Si queremos conservar unos trozos de naturaleza marina, primeramente se debe prohibir la pesca. Sin embargo, está permitida en algunos parques submarinos; a veces, la educación, las tradiciones, hacen difícil sustraer a los pescadores de una parte de sus tradicionales campos de recolección. La mayor parte del tiempo, sin embargo, la pesca está severamente reglamentada. La pesca submarina sí se encuentra estrictamente prohibida, así como la recogida de coral, conchas, etcétera. Las traineras tampoco tienen derecho a trabajar en las aguas cercanas al parque.

Entre las otras actividades humanas que degradan el entorno marino, hay que citar las destrucciones mecánicas (los saqueos) y las contaminaciones. Las primeras son debidas a cualquier forma de actividad humana; pero sobre todo son imputables a los grandes trabajos de rectificación de las costas: construcción de nuevos puertos de recreo o comerciales, edificaciones «al borde del mar», conquista de terrenos al mar, etc. La expedición del *Calypso* por el Mediterráneo durante la misión Medpoll demostró que estos tipos de saqueos eran probablemente más perjudiciales para el medio marino que todas las contaminaciones. Una de las principales misiones de un parque natural submarino debe ser la de impedir estos saqueos: hay que prohibir las construcciones al borde del mar, reglamentar los trabajos de «saneamiento», etcétera.

Sin embargo, tampoco conviene olvidarse de la contaminación. Ya sea de origen doméstico (bacterias, detergentes, etc.), industrial (hidrocarburos, metales pesados, P.C.B., ácidos, etc.) o agrícola (pesticidas, nitratos o fosfatos en exceso), siempre es destructiva, y mucho más





Proteger las zonas naturales que quedan. *Los parques naturales marinos se han convertido en una absoluta necesidad, porque el mar está cada vez más amenazado por la contaminación y por las destrucciones mecánicas directas (saqueos). Los santuarios para la vida salvaje permiten evitar, o al menos eso cabría esperar, la desaparición de ciertas especies. En Francia, el primer parque nacional marino fue el de Port Cros, en las islas Hyeres. Arriba: una vista del parque nacional de Hirosaki, en Japón. A la izquierda, el parque de las islas Vírgenes. Página siguiente: dos panorámicas del canal de Beagle, en el sur de Chile.*



cuando se suman unas y otras. En la medida en que el mar es un medio siempre en movimiento, atravesado por corrientes, resulta muy difícil luchar contra este tipo de daño. Algunos parques marinos, perfectamente protegidos contra las degradaciones directas del hombre, padecen enormemente la contaminación, sin que se pueda encontrar un remedio: los contaminantes pueden llegar de muy lejos, incluso de un país extranjero...

Como todos los parques naturales, los marinos deben alcanzar una cierta dimensión para cumplir verdaderamente su fin: pero por desgracia no suele ocurrir así. La mayoría de las veces, estas unidades de protección del medio ambiente están situadas alrededor de pequeñas islas. Para que la naturaleza pueda desarrollarse realmente, hace falta concederle la suficiente superficie.

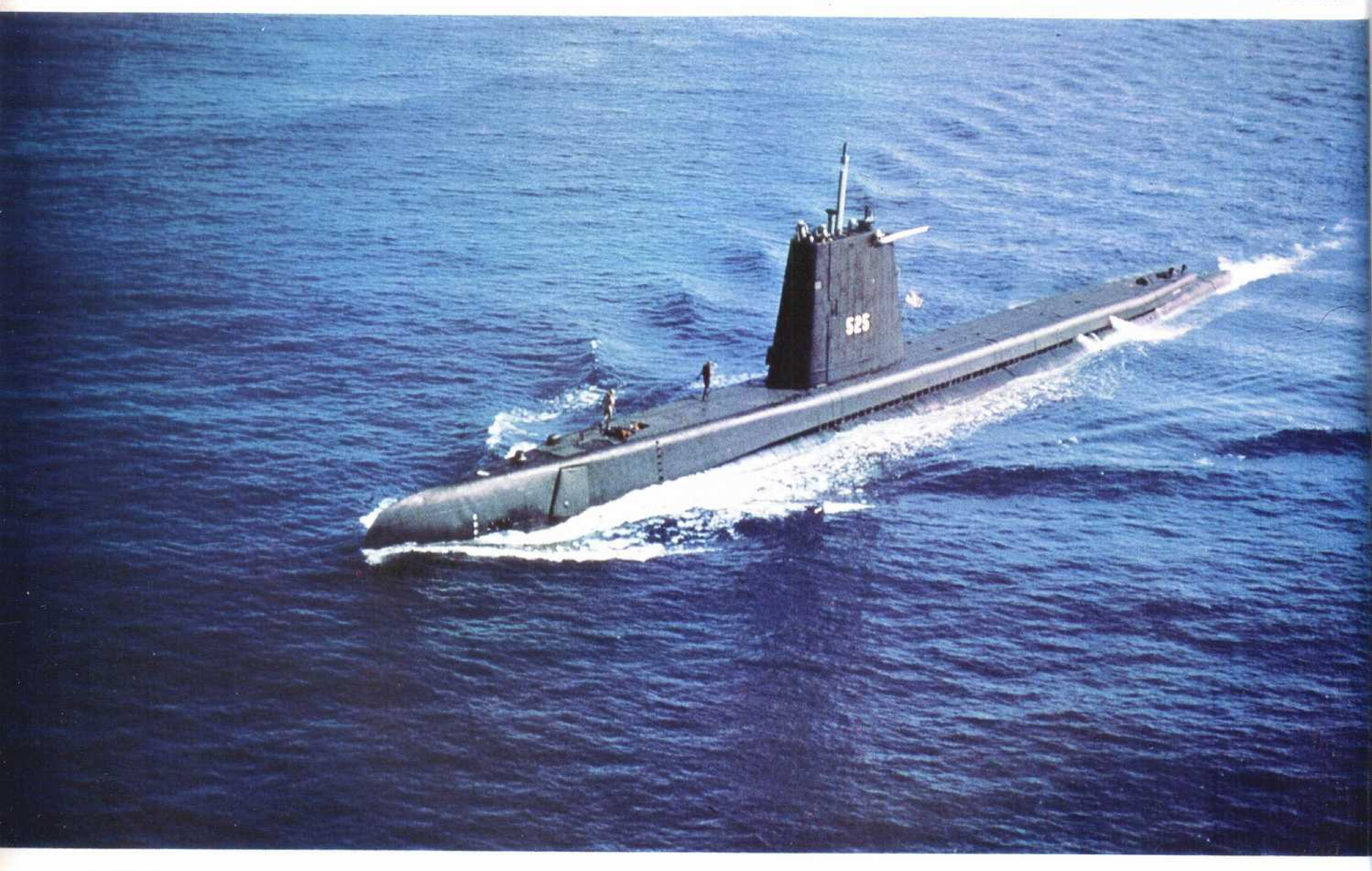
En el mundo son todavía escasos los parques naturales marinos. Existen aquí y allá, pero es de lamentar que los gobiernos no piensen más en ellos. Posiblemente, los poderes públicos presten mucha más atención a las indignadas protestas (!) de los «profesionales del mar», especialmente a las de los pescadores y las industrias de turismo. Existen parques en el mar Rojo (especialmente el de Eilat, creado por Israel), en el océano Indico, en el océano Pacífico (en las islas Galápagos, en Hawai, etc.), en el océano Atlántico... En el Mediterráneo, los más conocidos son los de Port-Cros y el que prolonga hacia el mar el parque nacional de Córcega.

Pero hay admirables regiones marinas que no están suficientemente protegidas. Citemos —sin orden— ciertas regiones polares, donde, en verano, millares de animales (ballenas, pingüinos, etc.) van a hartarse de krill; extensos arrecifes, como el de Belize, el segundo del mundo en tamaño después de la Gran Barrera australiana; zonas donde las especies acuden para reproducirse (por ejemplo, las playas donde las tortugas ponen sus huevos), etcétera.

Los individuos y los estados han empezado hace muy poco a tomar conciencia de la necesidad de proteger los grandes espacios marinos, y de crear para ello santuarios que preserven la vida salvaje. La protección de estos lugares y de las especies que en ellos viven no implica, sin embargo, una esterilización de todas las actividades humanas. La mayoría de las veces, las zonas protegidas alcanzan rápidamente una gran riqueza biológica, y se convierten en centros de atracción turística. Siempre que el turismo en cuestión esté organizado de una forma razonada (que no perturbe los ecosistemas), las poblaciones humanas locales pueden encontrar una fuente de beneficios importante. Sólo hace falta hallar cierto equilibrio.

Armamentos de superficie y de profundidad

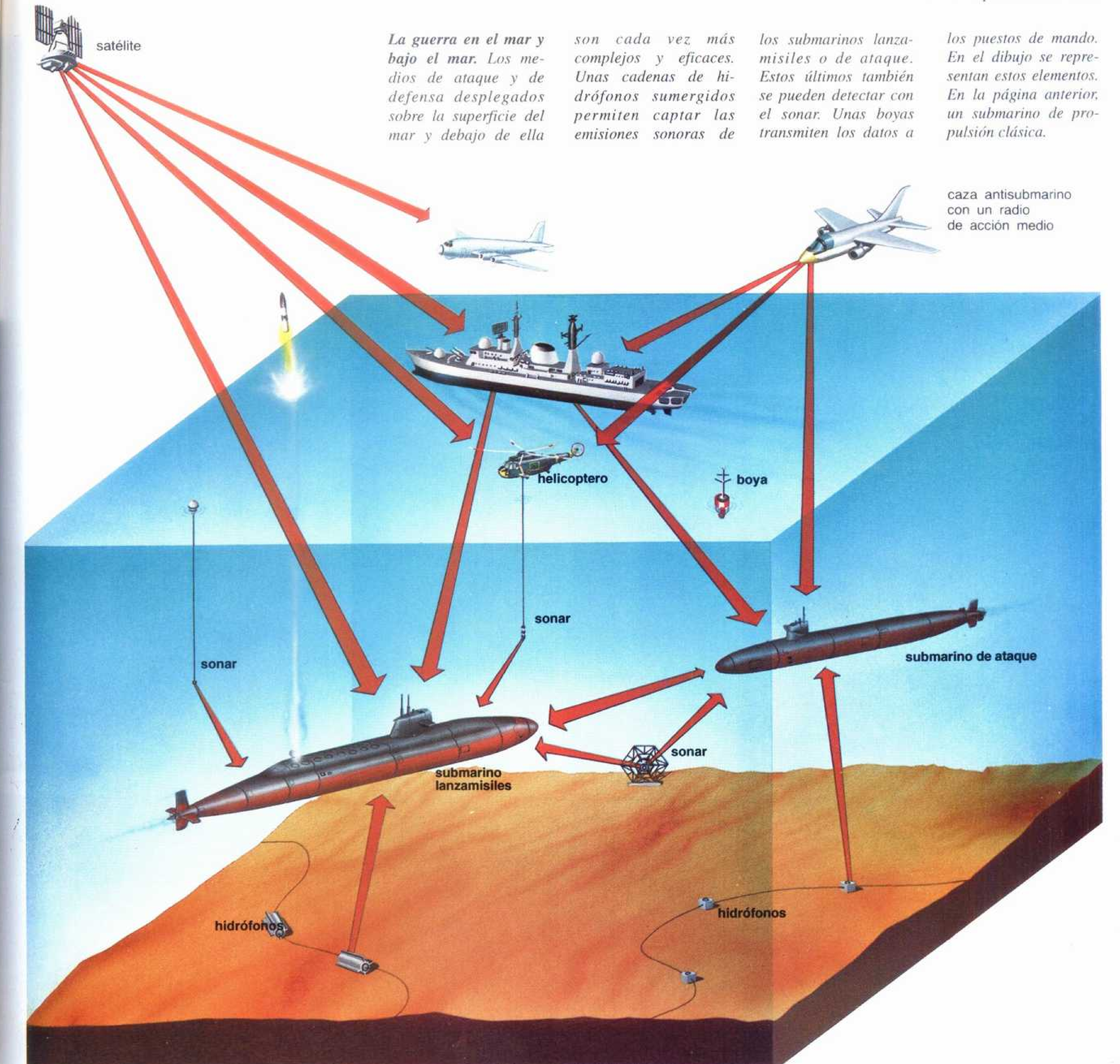
SE suele escuchar muy a menudo que las guerras futuras tendrán lugar en la tierra, en el aire y en el espacio. Pero pocas personas saben que, en realidad, uno de los grandes campos de batalla será el océano —la superficie y el fondo del mar—. Los expertos conocen muy bien este problema: día a día inventamos nuevos instrumentos de guerra para utilizarlos sobre y bajo el mar.



Todas las grandes potencias del mundo son también potencias marítimas. Controlan directamente sus aguas territoriales, en las que los buques de guerra enemigos no pueden entrar, e intentan asegurar su dominio en los grandes espacios de mar libre. Las zonas marítimas más disputadas son los estrechos, y si en ellos está permitida la libre circulación, luchan por ganarse a los países costeros.

Los mares, a pesar de los progresos del transporte aéreo, siguen siendo los principales soportes del comercio internacional, especialmente del dedicado a productos energéticos (petróleo, etc.): el control de los grandes itinerarios comerciales oceánicos constituye también un interés estratégico primordial. Las potencias marítimas tienen muy en cuenta estas «navirrutas», como se las llama a menudo. Los mares ocupan más de dos tercios de la superficie terrestre, y esta inmensidad propicia ciertas miras estratégicas. La débil transparencia del agua del mar permite disimular bajo su superficie los artilugios militares: su detección por medios ópticos es muy difícil, exceptuando los casos en que suben a la superficie. Los submarinos constituyen hoy en día el arma maestra de todas las grandes fuerzas estratégicas. La navegación subacuática se beneficia del hecho de que, en el seno del líquido elemento, las fuerzas de fricción son menores que en la interfase agua-aire. En la superficie, se sabe que cada vez que un buque dobla su velocidad, debe multiplicar por 16 la potencia que necesita para avanzar. Bajo el agua, las fuerzas de fricción son menores: la resistencia al desplazamiento crece solamente al cuadrado de la velocidad. Se piensa que es ventajoso para los buques estratégicos quedarse mucho tiempo bajo la superficie; sin ir muy deprisa, pueden recorrer millares y millares de millas, y consumir muy poco combustible. Los submarinos de propulsión clásica estaban obligados a subir a la superficie para renovar la provisión de aire necesario para la combustión del gasóleo en los motores. En los submarinos de propulsión nuclear esto no es necesario. Una débil carga de uranio y un reactor de pequeño tamaño les aseguran una formidable autonomía: pueden recorrer varias veces la Tierra sin salir a la superficie. El aire indispensable para la tripulación se renueva químicamente. El obstáculo principal de las grandes estancias en estos sumergibles bajo el agua reside en las posibilidades de resistencia, en general débiles, de los hombres. Aunque estén bien entrenados, son muy sensibles al confinamiento: los límites son psicológicos más que físicos.

El agua —y sobre todo el agua salada de los mares— propaga muy bien los sonidos. Esta propiedad física no es nada favorable para los sumergibles. Los principales medios de detección de estos navíos (especialmente los sonares) son acústicos. Es imposible para un submarino avanzar



La guerra en el mar y bajo el mar. *Los medios de ataque y de defensa desplegados sobre la superficie del mar y debajo de ella son cada vez más complejos y eficaces. Unas cadenas de hidrófonos sumergidos permiten captar las emisiones sonoras de los submarinos lanzamisiles o de ataque. Estos últimos también se pueden detectar con el sonar. Unas boyas transmiten los datos a los puestos de mando. En el dibujo se representan estos elementos. En la página anterior, un submarino de propulsión clásica.*

sin generar trenes de ondas sonoras: los instrumentos de detección modernos son capaces de localizar con una alucinante precisión la dirección, la velocidad y la profundidad de un aparato sumergido. Aunque el submarino se pare entre dos aguas, los sonares modernos pueden detectarlo, enviando hacia ellos haces de ondas e interpretando la imagen recibida mediante eco. Por supuesto, los constructores de submarinos intentan paliar estos inconvenientes incorporando sistemas de interferencia.

Los militares han adaptado su estrategia a las grandes unidades oceanográficas existentes: disponen de tipos de aparatos (de profundidad o de superficie) para las grandes cuencas pelágicas. Otros medios de guerra se reservan para las intervenciones cerca de las costas, en la plataforma continental y, sobre todo, en los estrechos.

En estos últimos años, los militares se preocupan de la cartografía de los fondos marinos, especialmente en las zonas «calientes» del globo. Estos datos topográficos suelen ser, en su mayoría, secretos. Los especialistas militares en oceanografía son probablemente los que mejor conocen los océanos, por lo menos en su aspecto físico. Por desgracia, los conocimientos adquiridos sobre geografía de las profundidades no se divulgan al gran público. Los científicos civiles que trabajan para la Armada tienen que guardar el secreto. El conocer perfectamente el perfil submarino de una costa puede convertirse en una ventaja decisiva en caso de guerra.

Los modernos medios bélicos, extremadamente sofisticados, forman lo que se llama a menudo «sistemas» coherentes. El arma sola (por ejemplo, el misil) es prácticamente inutilizable. Necesita, además de un lanzador (por ejemplo, un submarino lanza-misiles), todo un conjunto de instrumentos de servicios para que sea eficaz: aparatos para localizar adecuadamente el objetivo, instrumentos para guiar y corregir su trayectoria, etc. Cuanto más complejos son los sistemas,

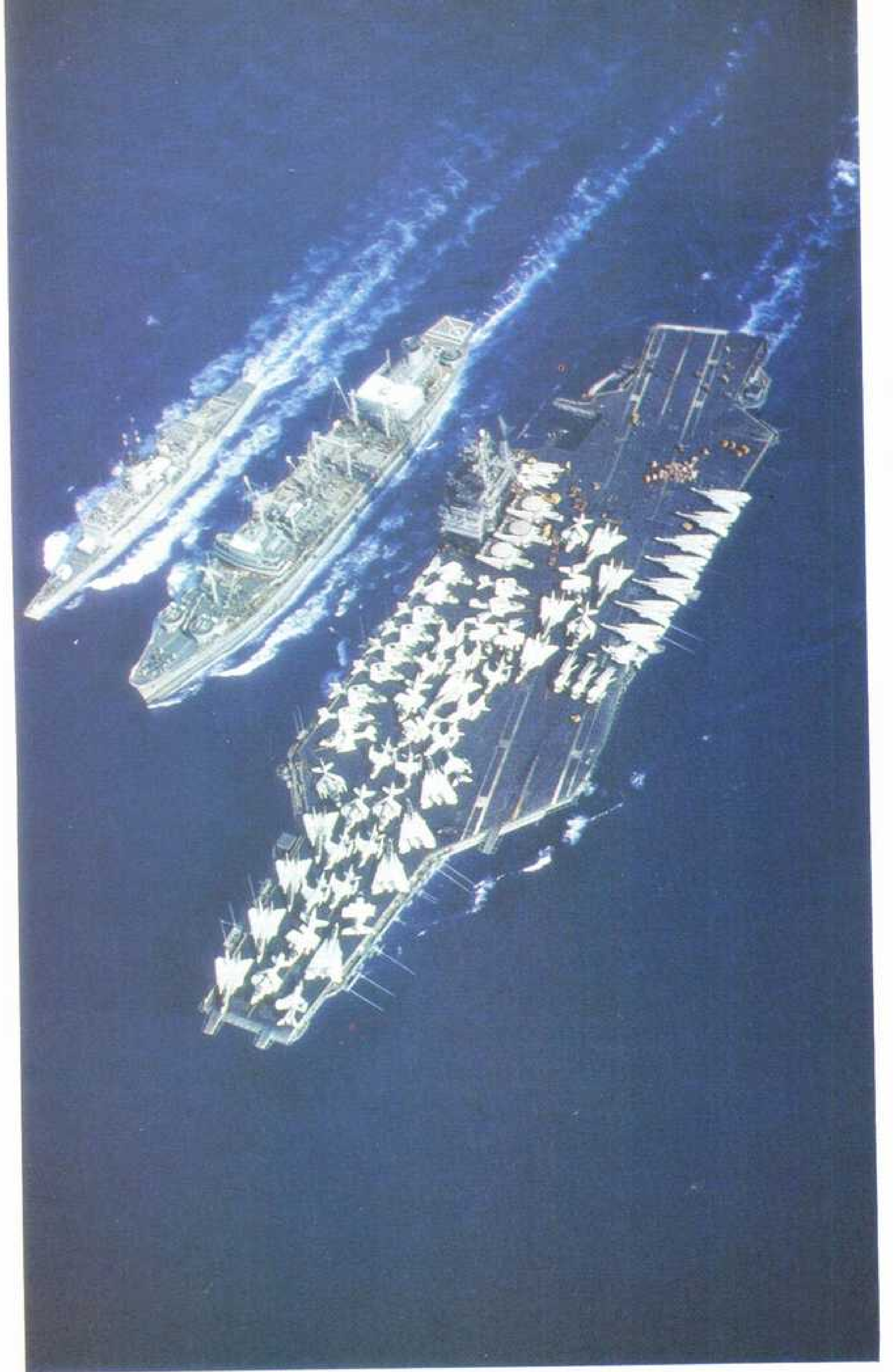
más necesitan de la electrónica, los satélites y los sistemas automáticos. Los submarinos pueden realizar ataques inmediatos en caso de guerra convencional. Son capaces de lanzar torpedos o misiles mar-mar contra barcos en la superficie u objetivos diversos. Pero el gran éxito de los sumergibles viene dado por la necesidad de la disuasión nuclear. Los misiles nucleares intercontinentales son vulnerables: si una de las potencias nucleares tiene intención de atacar a la otra, el primer objetivo será destruir los lugares donde están instalados estos misiles, que conoce perfectamente. La potencia que inicie el fuego nuclear adquirirá una ventaja decisiva: su enemigo no podrá replicar. No habría disuasión.



La finalidad de los submarinos lanzadores de misiles intercontinentales, en este contexto, es la de establecer la posibilidad de disuasión. Los submarinos en cuestión están en el mar, y son prácticamente imposibles de localizar. Aunque los lugares de lanzamiento de los misiles terrestres sean aniquilados, la potencia atacada tendría todavía la posibilidad de destruir a su rival desde el océano. Esta es la lógica que ha presidido con formidable ímpetu en estos últimos años la creación de los misiles balísticos lanzados por submarinos, los S.L.B.M. (Submarine Lauched Balistic Misiles), en la jerga de los especialistas. En 1891, el arsenal de submarinos equipados con misiles balísticos era el siguiente: Estados Unidos, 41; Unión Soviética, más de 60; Gran Bretaña, cuatro, y Francia cinco.

Los submarinos nucleares son artefactos terroríficos. Su velocidad bajo el agua sobrepasa los 40 nudos (más de 70 kilómetros por hora). Pueden estar durante meses debajo del agua y atravesar decenas de veces los océanos sin salir a la superficie. Pero sobre todo están dotados de un formidable armamento. La primera generación de misiles balísticos intercontinentales lanzados por submarinos era todavía (relativamente) poco potente: los *Polaris* americanos llevaban 16 misiles del mismo nombre, dotado cada uno de tres cabezas nucleares de 200 kilotones, y con un alcance de 4.500 kilómetros. Sus com-

Los portaaviones. *Desde la segunda guerra mundial, los portaaviones han adquirido una importancia decisiva en el arsenal militar de las grandes potencias. Son verdaderas ciudades flotantes, ayudadas por una escuadra de acompañamiento. Se les suministra carburante en alta mar (como podemos ver en la fotografía de la derecha). Los grandes portaaviones modernos, como el* John Fitgerald Kennedy *(al lado, a la derecha), llevan varias decenas de aviones rápidos. Estos despegan en pocos metros impulsados por unas catapultas, y, al posarse, frenan gracias a unas redes. Las fuerzas aeronavales están dotadas de armamento clásico, pero algunas pueden llevar bombarderos con cargas nucleares.*



SS-N-20, con 12 cabezas nucleares y un alcance de 7.000 kilómetros, se probaron en otoño de 1982, y se instalarán en 1985 en los submarinos *Typhoon* (denominación americana), que serán los mayores sumergibles que se hayan conocido nunca. Los submarinos nucleares lanzamisiles franceses (S.N.L.E.) son el *Redoutable* (en el astillero en 1963 y operacional en 1971), el *Terrier* (1973), el *Foudroyant* (1974), el *Indomptable* (1976), el *Tonnat* (1980) y el *Inflexible* (botado en 1982, será operacional en 1985). Los cinco primeros van armados con 16 misiles *M-20* de un megatón cada uno, y un alcance de 3.000 kilómetros: el sexto tendrá 16 misiles *M-4*, dotados cada uno con seis cabezas nucleares de 150 kilotones, y un alcance de 4.000 kilómetros.

Por supuesto, las fuerzas navales no sólo se limitan a los submarinos nucleares lanzadores de artefactos. Los submarinos de propulsión clásica son numerosos, y cada día constatamos que las flotas de superficie aumentan en potencia y número. Los cruceros, los fondeadores o los dragaminas, las lanchas rápidas, y, en general, todos los barcos de ataque o de protección que componen las escuadras clásicas, están presentes en todos los mares. En la actualidad, su misión es menos estratégica que táctica. Las grandes potencias también los emplean muy a menudo para apoyar sus decisiones políticas en tal o cual parte del mundo.





petidores soviéticos, los *SS-N-6*, tenían bien una cabeza de un megatón, bien tres cabezas de 200 kilotones, y un alcance de 3.000 kilómetros. Desde entonces, los americanos han puesto a punto los misiles *Poseidón*, mucho más precisos y dotados de 10 a 14 cabezas nucleares. Los misiles *Trident* son todavía más temibles: llevan entre 7 y 14 cabezas nucleares de 100 kilotones, que pueden llegar cada una a más de 7.000 kilómetros. Los *Trident II*, previstos para 1987, son aún más destructores. Hoy en día, cada submarino nuclear americano en el mar puede, el sólo, alcanzar, gracias a los sistemas de cabezas múltiples, todas las grandes ciudades de la Unión Soviética.

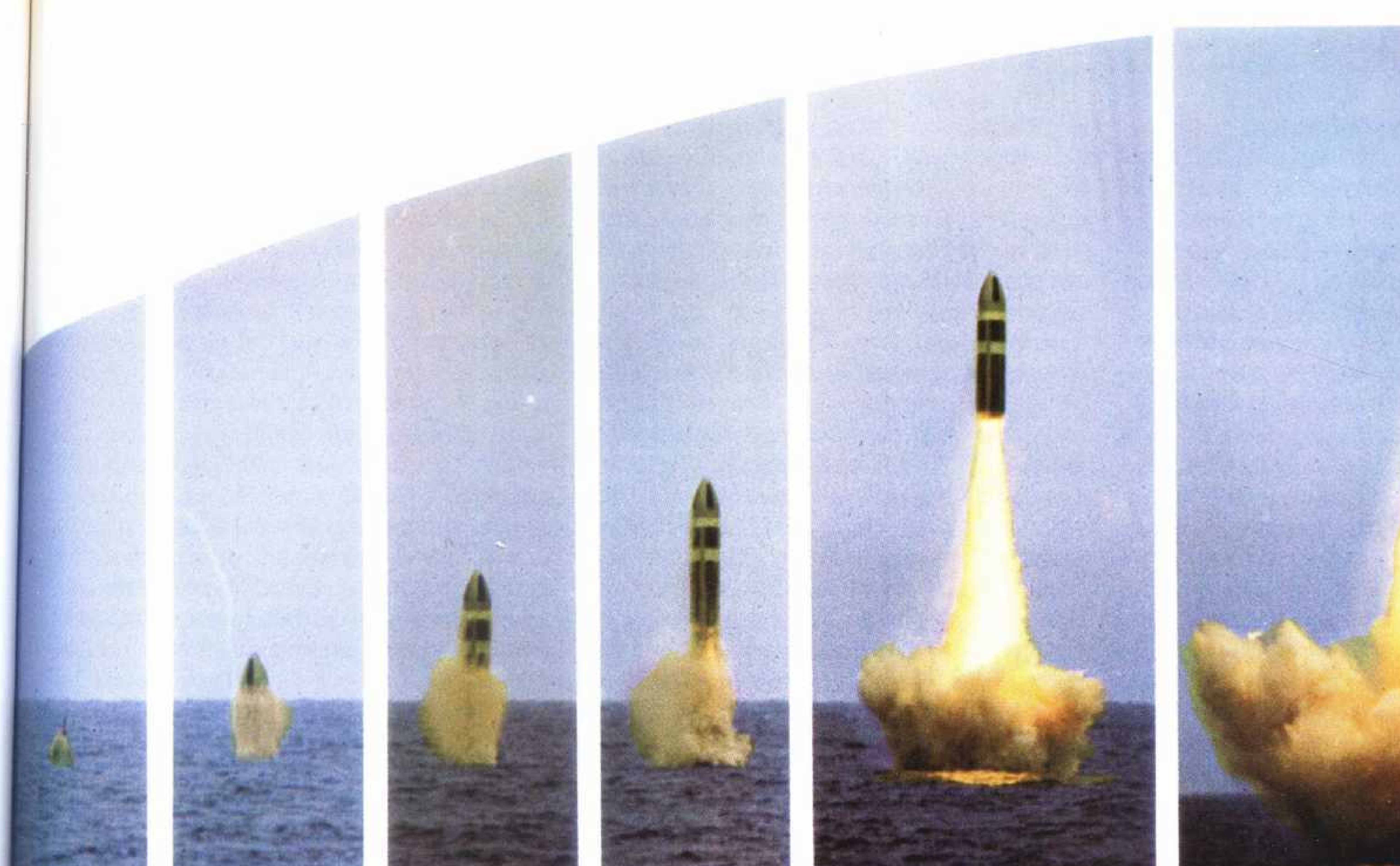
Los rusos no se quedan atrás: después de los *SS-N-6*, han desarrollado los sistemas *SS-N-8*, capaces de alcanzar 9.000 kilómetros, y los misiles *SS-N-18*, todavía más potentes que los precedentes. Los portaaviones siguen siendo un elemento esencial en todos los conflictos navales o terrestres (los cazas o los bombarderos que llevan intervienen a veces a cientos de kilómetros de su base móvil). La importancia de estos barcos se demostró durante la guerra del Vietnam, en la guerra de las Malvinas y, más recientemente, en el conflicto del Líbano. Los portaaviones, cuya potencia de fuego puede ser enorme, constituyen un ele-

mento decisivo, y aunque algunos estrategas estiman que ya ha pasado su época, no hay duda de que siguen jugando un papel esencial.
Entre las nuevas armas navales conviene reservar un lugar destacado a las minas atómicas. Tienen el mismo papel que las minas clásicas (dificultar la penetración del enemigo en una zona determinada), pero poseen una potencia destructora sin comparación con la de las minas convencionales. Algunos submarinos pueden fondear minas nucleares en un puerto enemigo: éstas se convierten en formidables amenazas, y su explosión puede ser accionada a distancia.
Los medios de detección de objetos submarinos (sumergibles propiamente dichos, robots, etc.) no dejan de perfeccionarse: cada nueva arma, rápidamente conocida por el otro bloque, a pesar de las medidas de seguridad con que se intenta conservar el secreto, desencadena un nuevo avance de la investigación. La acústica es probablemente el terreno en el que los técnicos han trabajado con más





ahínco. Las ondas sonoras sirven lo mismo para dirigir los submarinos que para su detección. El mínimo ruido procedente de un sumergible puede ser detectado desde muy lejos si se utiliza para ello hidrófonos modernos. Existe toda una rama de la acústica, especializada en el tratamiento de señales marinas, monopolizada por los militares. Por supuesto, se han desarrollado sistemas de interferencia tan sofisticados como los de detección, impulsando a los investigadores a perfeccionar procedimientos antiinterferencias, y así sucesivamente. La escalada de medios técnicos bélicos es todavía más rápida en el terreno naval que en los otros, lo que ya es decir.
Evidentemente, nadie puede desear que estos aparatos de muerte sean utilizados algún día. El disparo de los misiles balísticos lanzados por los submarinos supondría sencillamente que se habría desencadenado la guerra nuclear total, de la que probablemente no escaparía ni un solo hombre. Pero existen situaciones en las que, sin llegar al apocalipsis nuclear absoluto, las armas navales pueden resultar muy amenazantes. Las fuerzas de intervención clásicas, los gigantescos obuses que puede disparar un crucero, como el célebre *New Jersey*, etc., no resultan nada desdeñables.
De todas maneras, en tiempos de paz podemos preocuparnos por la presencia en el mar de submarinos cargados con cohetes nucleares. ¿Y si el sumergible se hun-




El armamento utilizado. Los acorazados no modifican la estrategia mundial (en la página anterior). Los submarinos lanzadores de misiles nucleares, sin embargo, han introducido cambios cualitativos en la concepción de una eventual guerra entre las grandes potencias. Permiten responder al adversario, aunque éste haya desencadenado una conflagración atómica. El sistema Polaris *(en esta página) está siendo hoy en día reemplazado en Estados Unidos por el sistema* Trident, *mucho más eficaz. Los soviéticos, los ingleses y los franceses poseen también submarinos armados con lanzamisiles.*

de? No es ninguna hipótesis gratuita: este acontecimiento ya se ha producido. A mediados de los años sesenta, un submarino nuclear soviético se hundió frente a las islas Hawai: la profundidad del océano en el lugar del naufragio es enorme (aproximadamente 4.000 metros), y a pesar de los esfuerzos realizados, fue imposible recuperar algo de los peligrosos restos del naufragio. Los americanos, conscientes del peligro, han realizado muchos esfuerzos para preparar un sumergible especial de rescate, capaz de socorrer a un submarino en dificultades a gran profundidad. Este sumergible, construido en gran secreto (y aparentemente equipado para la búsqueda de nódulos de manganeso), es en realidad un aparato militar. Este D.S.R.V. (Deep Sea Recue Vehicle) consiguió localizar los restos de un sumergible ruso hundido cerca de Hawai, y también engancharlo, pero no pudo subirlo a la superficie. Sin embargo, puede operar en profundidades no tan grandes.

Los cables submarinos

Los satélites artificiales han provocado el declive de los cables telefónicos subacuáticos. Los satélites ofrecen la posibilidad de transmitir más información que los cables, y pueden utilizarse también para las retransmisiones televisivas. Pero esta competencia, por muy necesaria que sea, no ha conseguido hacer desaparecer los cables, que tienen también sus ventajas. Además, los cables no solamente sirven para las transmisiones telefónicas transoceánicas: la misma tecnología, o casi, permite disponer de conductores eléctricos de alta tensión. Los barcos que tienen cables todavía son útiles.

El primer cable telefónico transoceánico lo tendió el barco *Graet Eastern*, entre Irlanda y Terranova en 1866. Y cuarenta años más tarde se tendió el primer cable telefónico dotado de un amplificador, aunque sobre una distancia más corta. El primer tendido de un cable con amplificador sobre una distancia transoceánica se realizó en 1950, a través del Atlántico. Gracias a este sistema, las voces, que normalmente se debilitan mucho a causa de las distancias y de las pérdidas de energía, llegan al receptor con potencia y nitidez.

Teniendo en cuenta los grandes espacios que tienen que recorrer, los cables transoceánicos deben poseer una muy débil resistencia eléctrica, una gran resistencia mecánica, y estar perfectamente protegidos contra los efectos de la corrosión producidos por el agua de mar. La baja resistencia eléctrica hace prácticamente imprescindible el uso del cobre.

Pero aunque la sección del conductor es grande (generalmente, decenas de milímetros cuadrados), la longitud es tal, que la resistencia total acaba por ser considerable. La resistencia mecánica se obtiene reforzando el conductor con una capa de un tejido de hilos de acero. Para conseguir la resistencia a la corrosión es necesario recubrir todo con materiales impermeables y estables.

Evidentemente, se intenta que los cables submarinos recorran la menor distancia entre los dos puntos que tienen que unir. Sin embargo, la línea recta no es siempre el camino más corto, ni el más seguro. Antes de tender un cable submarino, se realizan numerosos estudios de los fondos sobre los que irá apoyado el cable. Se evitan los suelos con valles profundos, los cortados (donde el cable, muy tensado, podría romperse), las zonas de corrientes turbias, las montañas submarinas, los arrecifes de coral, etc. Tampoco son adecuadas las regiones sometidas a corrientes muy fuertes, lo mismo que los bancos de pesca, donde los barcos suelen arrastrar sus redes.

El diámetro y la solidez del cable disminuyen a medida que se aleja de las costas. En la zona de la plataforma continen-





El tendido de un cable submarino. *El cable se desenrolla, lenta y cuidadosamente, de su tambor (arriba), y es sumergido poco a poco y con mucha delicadeza (a la derecha). En determinadas circunstancias se utilizan unas boyas para estabilizar el cabo que desciende, y evitar las fuertes tensiones locales, que podrían romperlo (página siguiente, a la izquierda). A veces, en lugares poco profundos, se necesita la ayuda de buceadores (página siguiente, a la derecha). Los grandes buques cableros están especializados en esta tarea (esquema de la página siguiente, abajo, a la derecha).*

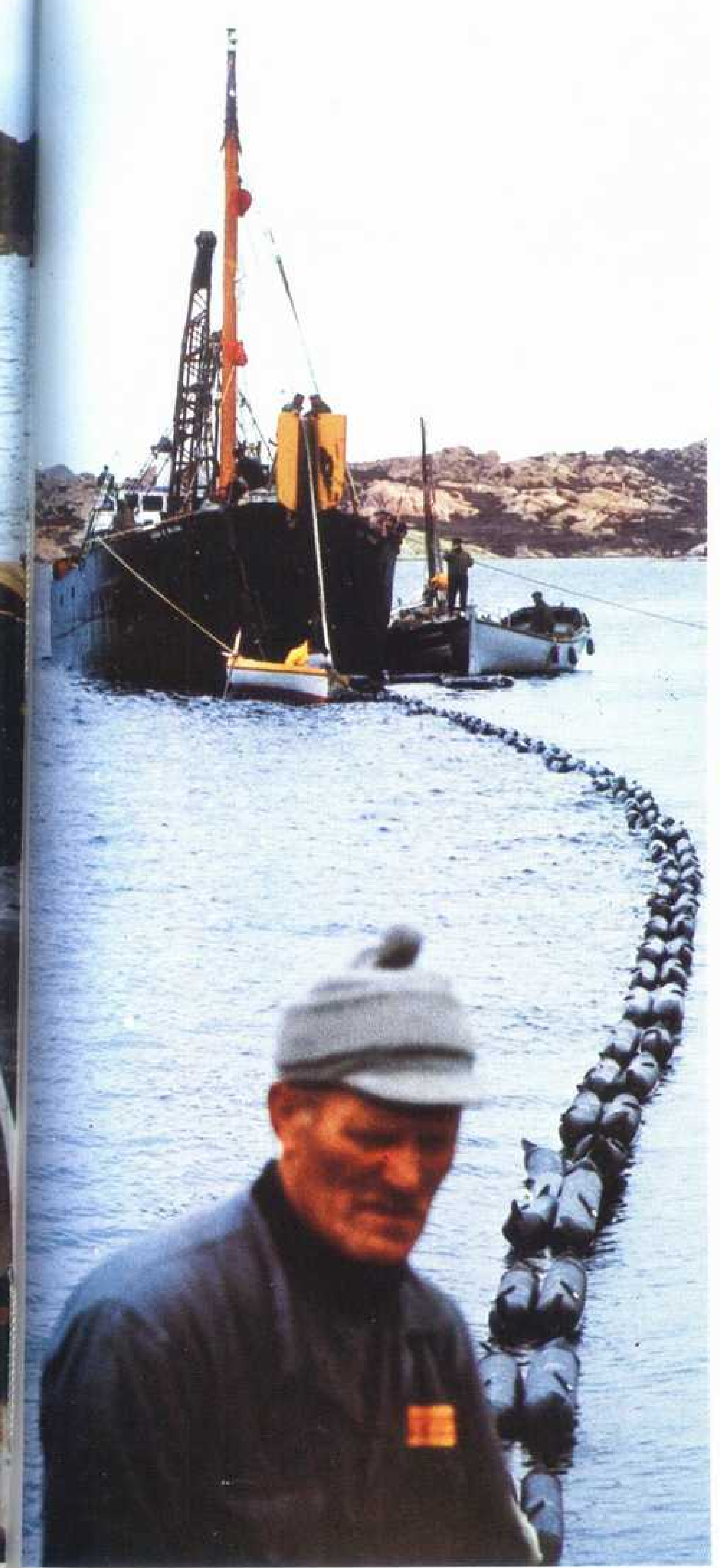
tal es donde los riesgos de ruptura son más grandes, ya que también es la región del océano con más perturbaciones. Así pues, los cables tienen un diámetro de seis a siete centímetros cerca de las costas; este diámetro es de cinco centímetros por debajo de los 500 ó 700 metros; y de 3,5 centímetros en las grandes llanuras abisales.

El tendido de cables submarinos se confía a barcos especializados denominados cableros. Estos llevan en sus bodegas unas bobinas gigantes, que pueden tener un diámetro de 12 metros, y en las que se pueden enrollar de 3.000 a 4.000 kilómetros de cable. En el momento de tender el cable, la velocidad del barco se reduce. Antes, este trabajo no se realizaba a más de seis kilómetros por hora. Actualmente, los buques cableros pueden trabajar a 15 kilómetros por hora. Los trabajos se hacen con mucho cuidado: el desenrollamiento del cable debe ser muy regular, y vigilado cada segundo. Unos sensores instalados adecuadamente permiten saber en cada instante, durante el descenso, si las fuerzas de tensión son iguales en toda la longitud, para prevenir las rupturas. Al empalmar los trozos de cable hay que verificar que la continuidad eléctrica no se haya roto, y que las envolturas protectoras estén en buen estado en los empalmes.

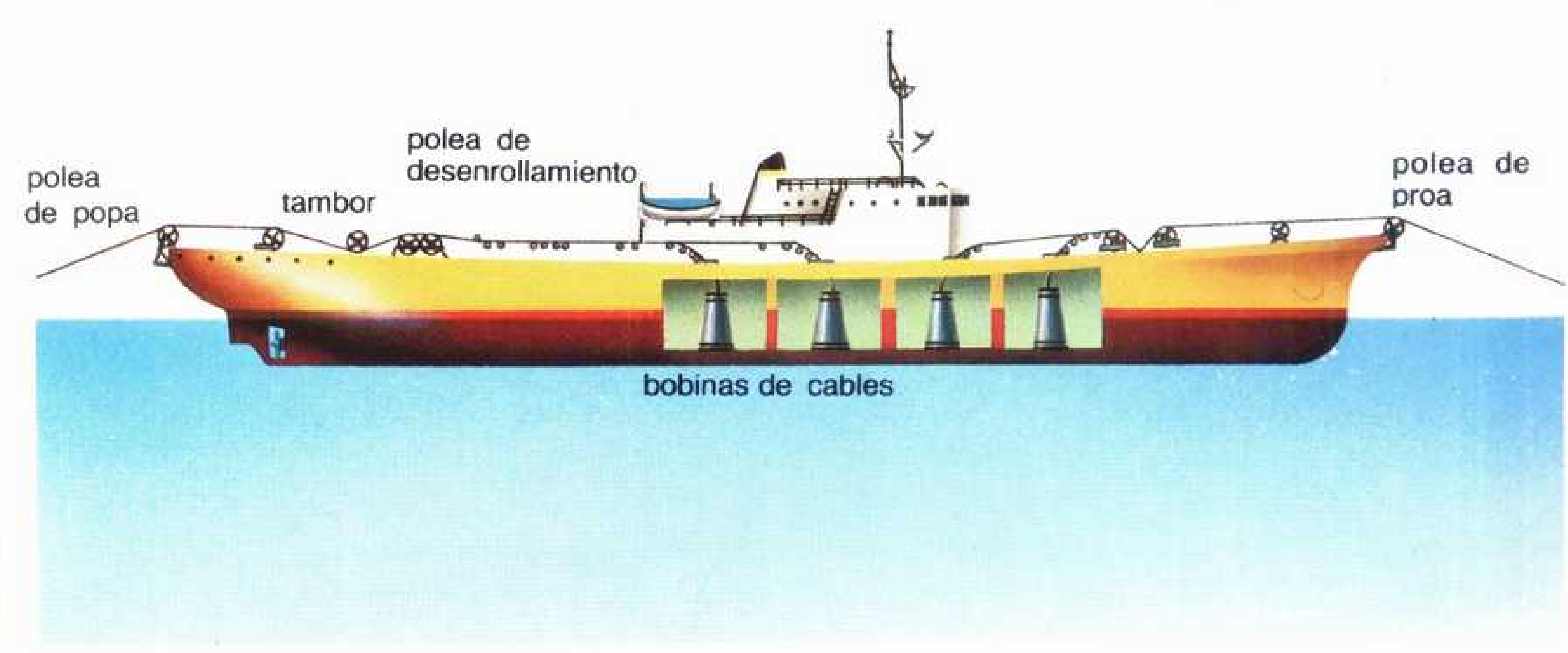
A pesar de estas precauciones, los cables submarinos suelen necesitar reparaciones. La única alternativa es sacarlos a la superficie para repararlos..., o bien ¡poner otros nuevos! Si se tienen que reparar, la primera dificultad consiste en localizar exactamente el lugar de la avería. Se envían impulsos eléctricos de diversa naturaleza a diferentes lugares, y se calcula el tiempo que tardan las perturbaciones en llegar a los puntos de verificación. Entonces se dirige un buque cablero a ese lugar. El buque arrastra por el fondo un conjunto de pinzas y ganchos. Cuando el cable está enganchado, se asegura el enganche de las pinzas y se le levanta suavemente: hay que evitar, una vez más, que las tensiones locales lo rompan. Generalmente, el barco envía nuevos impulsos eléctricos por el cable, para asegurarse de que el lugar de la avería ha sido perfectamente localizado.

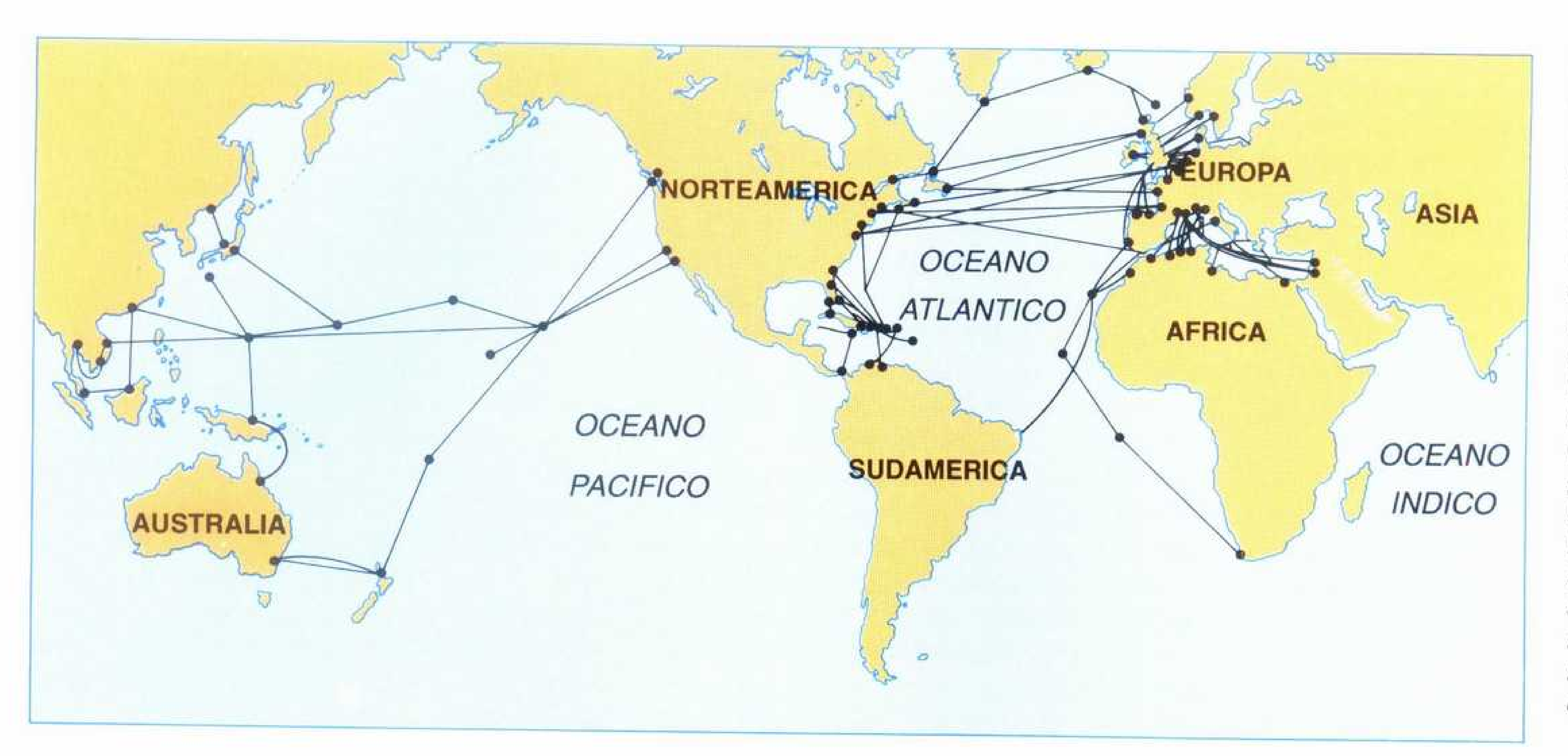
El cable reparado se vuelve a bajar al fondo con el sistema de pinzas. Estas últimas, teledirigidas, sueltan el hilo cuando se está seguro que se encuentra adecuadamente instalado en el suelo del océano. Esta operación es bastante delicada, porque resulta imposible evitar las bruscas variaciones de tensión.

Cuanto mayor es la profundidad, más fuertes son las tensiones diferenciales. Las maniobras para bajar de nuevo el cable se ejecutan con mayores precauciones que las maniobras de izado. Los ingenieros han conseguido, inventando sofistica-









Los cables telefónicos submarinos. *Los cables telefónicos corren por los fondos de los grandes océanos del mundo, principalmente a través del Atlántico norte y del Pacífico norte, mares situados entre zonas industriales. Reposan en el suelo abisal (abajo). Actualmente sufren la gran competencia de las redes que utilizan los satélites artificiales: estos últimos permiten el procesamiento simultáneo de mayor número de información.*

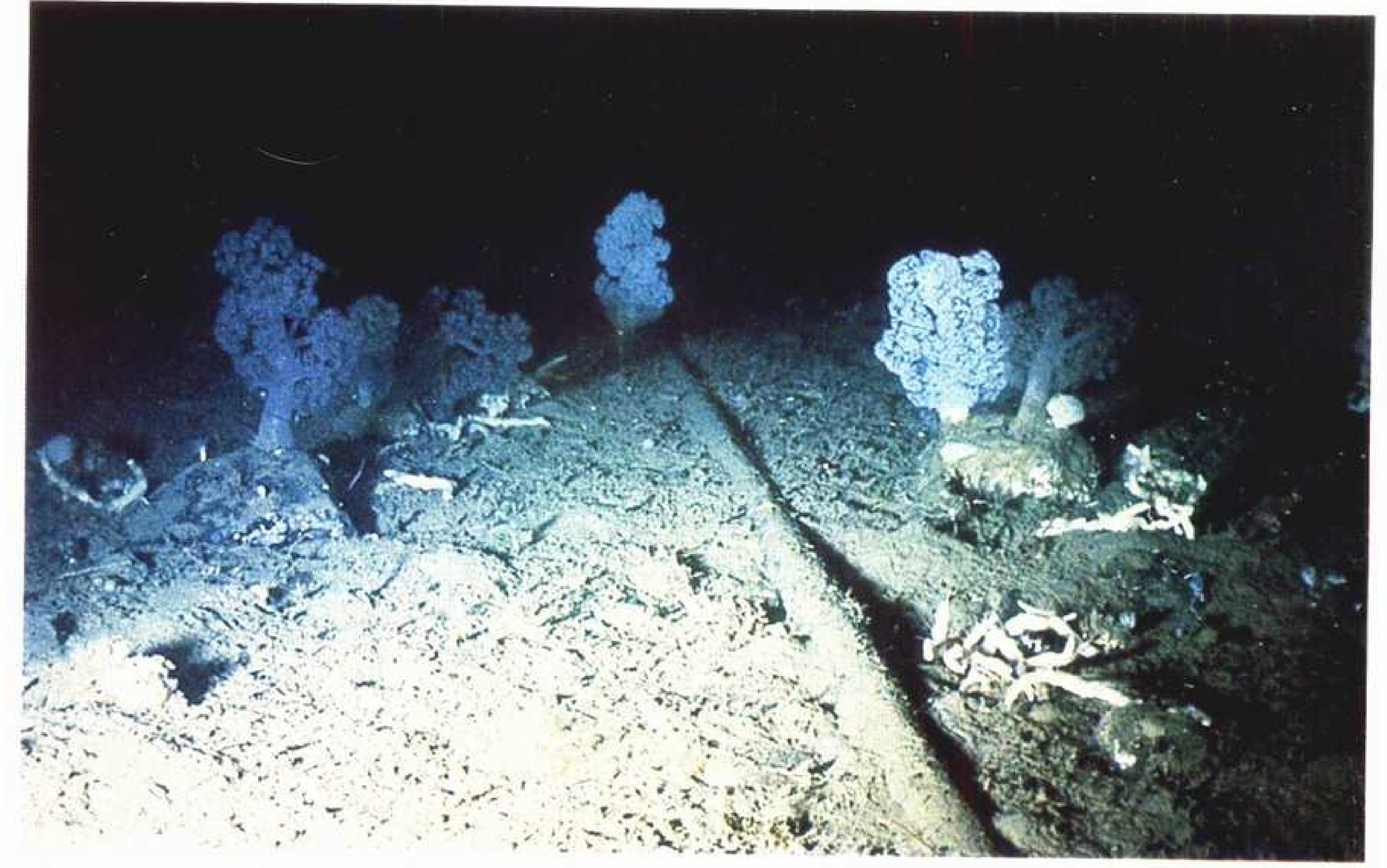
dos sistemas de frenos de tambor, que estas operaciones sean más seguras. Unos dinamómetros capaces de enviar informaciones a la sala de control proporcionan todos los datos necesarios sobre las tan temidas diferencias de tensión.

En la actualidad, todos los continentes están unidos entre sí por cables telefónicos submarinos. La mayor densidad de líneas se encuentra en el Atlántico norte, como era de esperar. Los cables unen también Europa con Sudamérica y con Asia, y Europa con Africa. Varios cables atraviesan el Pacífico, entre Norteamérica, Extremo Oriente y Australia.

Los cables submarinos están administrados por sociedades nacionales o privadas de telecomunicaciones. Al ser muy elevado el coste de su instalación, estos cables se deben explotar al máximo. Para intentar que sean rentables, se les hace funcionar las veinticuatro horas del día. Esto no es siempre fácil: las diferencias horarias entre Europa y Norteamérica, y entre Norteamérica y Extremo Oriente, hacen que las líneas estén saturadas a ciertas horas y que no puedan soportar ninguna comunicación suplementaria, mientras que en otras horas existen lagunas de utilización. Las compañías responsables intentan llenar estos «huecos» ofreciendo tarifas ventajosas, trabajando para los servicios gubernamentales, etc.

No debemos ignorar que desde el advenimiento de los satélites artificiales, los cables transoceánicos están perdiendo velocidad de comunicación. Son pesados de manejar, su instalación es cara, las reparaciones, el mantenimiento lo son igualmente y, sobre todo, admiten menor volumen de comunicaciones que los satélites que utilizan ondas hertzianas.

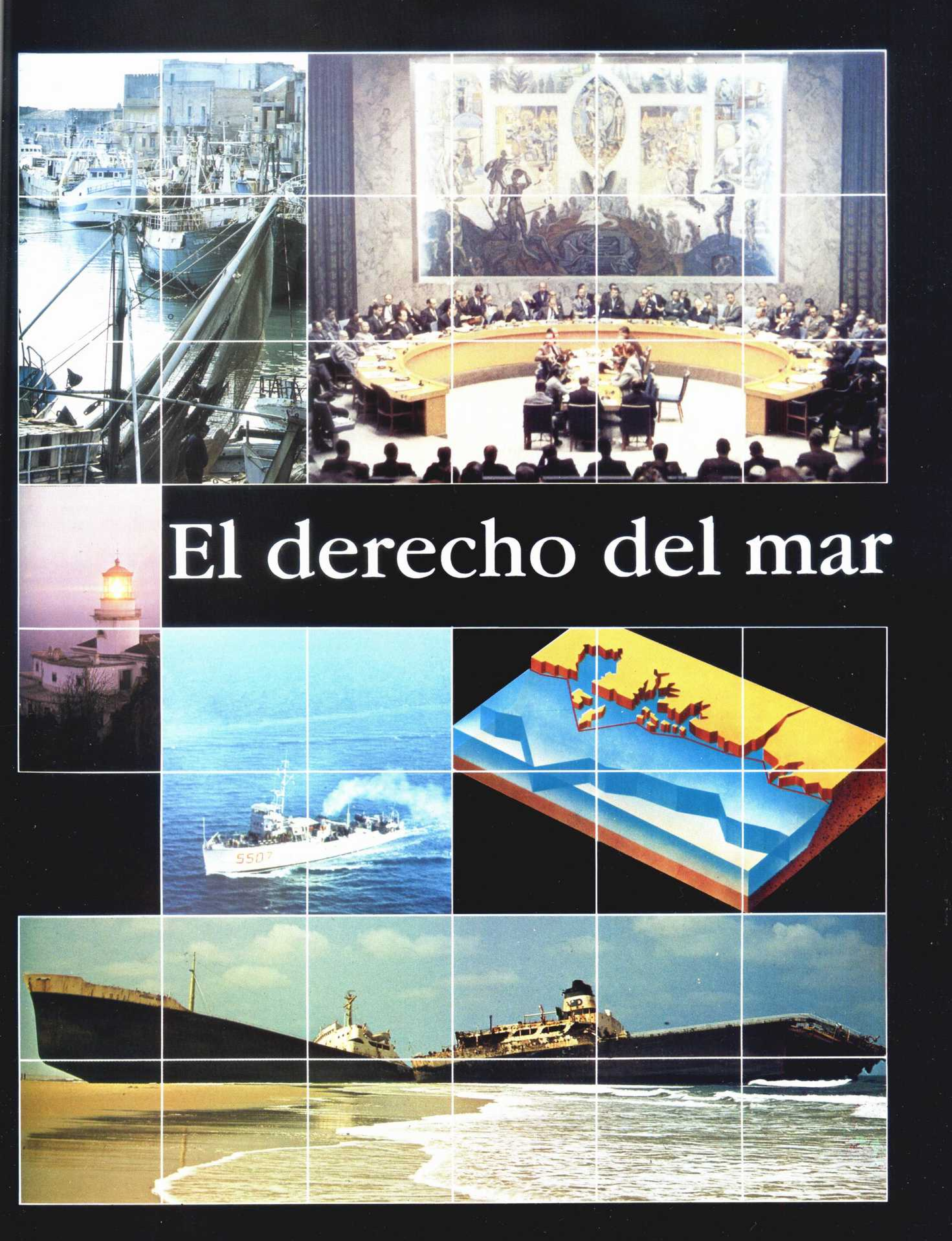
Para encontrarles otras nuevas utilidades se está intentando perfeccionarlos y modificarlos. Desde hace algunos años se han instalado muchos cables submarinos



no para transmitir mensajes telegráficos o telefónicos, sino para transportar energía eléctrica, para lo que son perfectamente adecuados siempre que la distancia a recorrer no sea muy larga, ya que entonces las pérdidas de energía serían muy grandes.

Los cables submarinos encontrarán en este terreno una utilización importante cuando los ingenieros desarrollen las tecnologías que permitan la explotación de las diferentes energías del mar (energía eólica *offshore,* energía de gradiente térmico, energía de gradientes de salinidad, energía de las corrientes, etc.). Entonces serán indispensables para conducir la electricidad desde los lugares de producción hasta los de consumo. Los cables submarinos plantean el difícil problema de su aislamiento, que debe ser perfecto, si tenemos en cuenta el poder conductor del agua de mar. De todas maneras son cables de grueso diámetro, destinados a soportar tensiones de cientos de miles de voltios. Ya hoy se está desarrollando esta tecnología: existen cables eléctricos transportadores submarinos en varios lugares del mundo, como, por ejemplo, entre la península italiana y Cerdeña. Recientemente, un cable del mismo tipo se ha instalado en el canal de la Mancha.

Los cables submarinos ofrecen las mismas ventajas y presentan los mismos defectos que los cables subterráneos o aéreos, si se los compara con los satélites artificiales. Son más pesados, incómodos, menos seguros, más caros y, además, menos eficaces. Sin embargo, los satélites todavía no han ganado la partida. Si las técnicas de fibra óptica se desarrollan de la manera que imaginamos, asistiremos a la revancha. Las posibilidades de conducción de informaciones de la fibra óptica son tan fantásticas como las de las redes hertzianas. No excluimos asistir dentro de poco tiempo al tendido del primer cable submarino funcionando según el principio de la fibra óptica.


El derecho del mar
5507

Los acuerdos internacionales

La libertad en los mares ya no existe. La política de dejar hacer, que durante mucho tiempo favoreció los intereses de ciertas naciones ricas, está actualmente acabada. En todas partes se han puesto a punto nuevas leyes sobre el tema. Los tiempos de *razzias*, los saqueos, la explotación incontrolada de los recursos han terminado, y los estados vigilan celosamente las zonas del mar que tienen bajo su jurisdicción.

La cuestión del derecho del mar está a la orden del día. Algunos estados querrían perpetuar la política ultraliberal, según la cual las cosas pertenecen al primero que las toma. Otros, al contrario, desearían hacer del mar el bien común de la humanidad. Entre las dos posiciones existen infinitas tesis intermedias, que reflejan las tomas de posición ideológicas, los intereses, las alianzas, etc.

Dada la riqueza de los mares, especialmente en recursos energéticos y minerales (petróleo, gas natural, nódulos polimetálicos), y teniendo en cuenta sobre todo la importancia estratégica de los océanos, la cuestión del derecho del mar se ha hecho primordial, y puede incluso decidir la paz o la guerra en el mundo de mañana.

Existía, hasta estos últimos años, un conjunto de leyes, escritas o no escritas, que reglamentaban mejor o peor los derechos de los usuarios del mar, y permitían juzgar en caso de conflicto. De manera muy general, los estados se reservaban unas aguas territoriales, que bordeaban sus límites continentales e insulares, y cuya extensión hacia alta mar era de tres millas marinas. Desde que se descubrieron las nuevas riquezas del mar, hizo falta redefinir todo esto.

Los intentos por crear un verdadero código internacional del mar se remontan a cincuenta años antes. Desde 1958, bajo el patrocinio de las Naciones Unidas, se celebra cada cuatro años aproximadamente una sesión de la Conferencia Internacional sobre el Derecho del Mar; de ella se espera que emanen acuerdos definitivos sobre el tema.

Las diferentes sesiones de la conferencia se han llevado a cabo en Ginebra, en Caracas y en Nueva York. Los cuatro capítulos principales discutidos desde la primera reunión han sido:

1. El mar territorial y su zona contigua.
2. La plataforma continental.
3. Alta mar.
4. La pesca y la conservación de los recursos biológicos de alta mar.

Fue durante la segunda Conferencia, a propuesta de algunos estados marítimos y del Tercer Mundo, cuando se declararon «bienes comunes de la humanidad» el fondo del mar y sus recursos.

Se decidió crear un organismo para confiarle la gestión, al que se le llamó Suprema Autoridad del Mar, que dependía de las instancias internacionales. Sin embargo, ya desde esa época, las reticencias de ciertos estados, especialmente los más potentes económicamente (Estados Unidos el primero), motivaron que, aunque la proposición fuese adoptada por mayoría, encontrara muchos problemas en su plasmación.

La tercera sesión de la Conferencia puntualizó las cosas, pero no llegó a conseguir la unanimidad sobre los tesoros del fondo del océano y de alta mar. Sin embargo, la mayoría de los estados adoptaron o confirmaron su aceptación de las



Las divisiones geográficas y jurídicas. *Hasta época reciente y desde el siglo XVIII, las aguas territoriales estaban constituidas por una delgada franja de mar contigua a las costas, de tres millas de anchura (lo que correspondía, en la época del jurista holandés Grotius, al alcance de un cañón). Los barcos extranjeros podían entrar en estas aguas siempre que pasaran «inocentemente», es decir, sin armas. Tras la segunda guerra mundial, la distancia de seguridad de tres millas fue insuficiente. El gran desarrollo de las investigaciones petrolíferas y de la pesca ha producido un importante aumento en la zona de influencia de los estados en sus mares. La mayoría de las naciones han trasladado a 12 millas el límite de sus aguas territoriales propiamente dichas. Muchas de ellas se han apropiado una «zona de interés económico exclusivo» de 200 millas de anchura, que se puede prolongar a 350 millas si la estructura de la plataforma continental lo permite. Esta nueva ley del mar planteará, sin duda, numerosos problemas.*

límite del agua territorial

1. Costa
2. Bahía
3. Islas
4. Estuario



cláusulas llamadas de «tránsito inocente» en los estrechos. La mayoría de los estados ribereños marítimos llevaron el límite de sus aguas territoriales a 12 millas náuticas, y muchos de ellos siguieron el ejemplo de Perú y de otros países, creando una zona de «interés económico exclusivo» de 200 millas mar adentro de sus costas. En esta zona, actualmente pretenden ejercer una jurisdicción completa sobre los recursos (petróleo, pesca, etc.), aunque dejen a los barcos extranjeros libertad para cruzarla. La zona de las 200 millas (que incluye las 12 millas de las aguas territoriales) puede incrementarse en la medida que exista una plataforma continental importante: en este caso, el límite puede llevarse 350 millas mar adentro.

Estas nuevas definiciones provocaron roces. Por supuesto, los estados no ribereños (Suiza, Austria, Checoslovaquia, Hungría, Paraguay, etc.) reclamaron su parte de océano —ya que la zona de alta mar había sido declarada «bien común de la humanidad»—. Con la nueva regla de la zona de interés económico exclusivo de las 200 millas se reducía sustancialmente el espacio internacional de los océanos.

La oceanografía política

Los estados han comprendido siempre la importancia estratégica del mar, y su control ha condicionado la potencia económica y militar de los países desde la antigüedad. En los siglos XVI y XVII, mientras los soberanos europeos se peleaban por establecer su supremacía naval y proclamar su soberanía en la mayoría de los territorios marítimos que podían, un jurista holandés llamado Hugo Grotius (Hugo De Groot) pleiteó a favor del principio de la libertad de los mares. Se convirtió en el campeón de esta causa. En 1609 publicó una obra titulada *Mare Liberum, La liberté des mers.* En este documento se inspiró el derecho marítimo internacional hasta el período reciente de la Conferencia sobre el Derecho del Mar.

Según las tesis de Grotius, el mar debía tener libre acceso para todos, exceptuando un pequeño cinturón de agua inmediatamente adyacente a las costas, llamado mar territorial o «aguas territoriales». La distancia de tres millas que se adoptó permitía a los barcos de la época estar fuera del alcance de los cañones enemigos... Grotius escribía, pensando en el resto del océano: «El mar es común a todos porque es tan ilimitado que no puede convertirse en la posesión de nadie, y porque se ha adaptado al uso de todos, si lo consideramos desde el punto de vista de la navegación y de la pesca.»

Evidentemente, Grotius no podía imaginar que algún día las naciones se disputarían los minerales que yacen en el suelo profundo de los océanos, que los buques-factoría devastarían los recursos pesqueros, y que los seres humanos serían tan necios como para ensuciar con desechos el mar hasta el punto de convertirlo en enfermo en algunos lugares... Por desgracia, hoy en día hemos llegado a esto: un mar sucio que es objeto de todas las codicias, y cuyas riquezas son tan buscadas que se han convertido en raras...

El problema de los estrechos ha sido de los más simples de resolver. Existen en el mundo más de 100 de estos pasajes cuya anchura varía entre seis y 24 millas. Si se aplicaran estrictamente las 12 millas de las aguas territoriales, se paralizarían los estrechos. Todos los estados tienen interés en que el comercio internacional se mantenga y que los estrechos no se conviertan en causas de guerra permanente, y en garantizar la libre circulación en estos pasajes. ¿Qué ocurriría si el estrecho de Ormuz (entre el golfo Arábigo-Pérsico y el mar de Omán), el estrecho de Bab el Mandeb (entre el mar Rojo y el océano Indico), el estrecho de Gibraltar, el conjunto Bósforo-Dardanelos o el estrecho de Malaca se cerraran? Las grandes potencias no podrían admitirlo y la guerra sería inevitable.

ZONAS ECONOMICAS EXCLUSIVAS

Noruega, Suecia, Finlandia, Unión Soviética, Gran Bretaña, Irlanda, Dinamarca, Holanda, Bélgica, Alemania Federal, Polonia, Francia, Rumania, Italia, Yugoslavia, Portugal, España, Turquía, Grecia, Malta, Chipre, Siria, Iraq, Irán, Túnez, Marruecos, Argelia, Libia, Egipto, Arabia Saudita, Qatar, Yemen, Mongolia, China, Corea del Norte, Corea del Sur, Japón, Paquistán, India, Cabo Verde, Mauritania, Senegal, Guinea, Liberia, Costa de Marfil, Ghana, Togo, Berín, Nigeria, Camerún, Gabón, Congo, Zaire, Sudán, Etiopía, Somalia, Kenia, Tanzania, Angola, Mozambique, Madagascar, Africa del Sur, Islas Maldivas, Seychelles, Islas Comores, Islas Mauricio, Tailandia, Camboya, Vietnam, Filipinas, Malasia, Indonesia, Australia

3 millas	50 millas
6 millas	70 millas
12 millas	150 millas
15 millas	200 millas
25 millas	actualmente en modificación





LA EXTENSION DE LAS AGUAS TERRITORIALES

3 millas		4 millas
Australia	Nicaragua	Finlandia
Bahamas	Holanda	Islandia
Bahrein	Qatar	Noruega
Bélgica	Rep. Dem. Ale.	Suecia
Chile	Rep. Fed. Ale.	**6 millas**
Dinamarca	Gran Bretaña	
Emiratos Arabes	Salomón	Grecia
Unidos	Singapur	Israel
Irlanda	Taiwán	Rep. Dominicana
Jordania	Estados Unidos	Turquía

12 millas		
Africa del Sur	Guinea Bisau	Pakistán
Argelia	Guinea Ecuat.	Papúa-Nueva
Arabia Saudita	Guyana	Guinea
Bangladesh	Haití	Polonia
Barbados	Honduras	Portugal
Birmania	India	Rumania
Bulgaria	Indonesia	Santo Tomé
Camboya	Irán	y Princ.
Canadá	Iraq	Samoa Occi.
Cabo Verde	Italia	Seychelles
China	Jamaica	Siria
Chipre	Japón	Sri Lanka
Comores	Kenia	Sudán
Corea del Norte	Kuwait	Surinam
Corea del Sur	Libia	Tailandia
Costa de Marfil	Malasia	Trinidad
Costa Rica	Malta	y Tobago
Cuba	Marruecos	Tunicia
Djibuti	Mauricio	Unión Soviética
Egipto	México	Venezuela
España	Mónaco	Vietnam
Fiji	Mozambique	Yemen del Norte
Francia	Naurú	Yemen del Sur
Granada	Nueva Zelanda	Yugoslavia
Guatemala	Omán	Zaire

15 millas	50 millas	100 millas
Albania	Camerún	Gabón
	Gambia	
20 millas	Madagascar	
Angola	Tanzania	

30 millas	70 millas	150 millas
Nigeria	Mauritania	Senegal
Togo		

200 millas		
Argentina	Ghana	El Salvador
Benín	Guinea	Sierra Leona
Brasil	Liberia	Somalia
Congo	Panamá	Uruguay
Ecuador	Perú	

Las recientes extensiones. *Casi todos los estados participantes en la Conferencia Internacional sobre el Derecho del Mar han seguido el ejemplo de Perú y de los primeros países que adoptaron la norma de la extensión de su zona de interés económico exclusivo a 200 millas. En esta zona, los países se reservan no sólo derechos de pesca muy estrictos, sino privilegios de explotación sobre cualquier riqueza del fondo marino. Estos últimos se refieren ante todo, claro está, al petróleo. Hoy día, casi la cuarta parte del petróleo procede del océano, y más concretamente de esta zona de 200 millas. Arriba, en la doble página: mapa que representa a los estados según la extensión de su zona de interés económico exclusivo: el color violeta (correspondiente a las 200 millas) domina. A la izquierda: el puerto pesquero de Mazara del Vallo, en Sicilia; los pescadores de este lugar son acusados por Lisboa de explotar riquezas biológicas que no les pertenecen. A la derecha: mapa en el que se representa la división del mar del Norte, y, en azul más intenso, la zona que en la actualidad es objeto de discusiones.*



Con la extensión de los derechos de los estados ribereños a 200 millas mar adentro, el problema de los estrechos es francamente académico; podrían considerarse como estrechos porciones enteras de los mares costeros: todo el mar Rojo, todo el mar Báltico, todo el golfo Arábigo-Pérsico, casi todo el Mediterráneo, casi todo el mar Caribe y el golfo de México, entrarían dentro de estos límites. Si los estados piensan incrementar los derechos que se han atribuido en esta zona de interés económico exclusivo, como alguno parece tener la intención, los conflictos que seguirán podrían pesar mucho en la balanza de la guerra y de la paz, seguramente en favor de la primera. Las respuestas han sido numerosas, especialmente donde hay islas, y no es extraño que un estado no acepte el reparto del mar contiguo que le propone su vecino. La Comisión Internacional de Justicia de La Haya ha tenido que intervenir en nu-

merosos litigios. Se han producido conflictos armados por este motivo: así, por ejemplo, China y Vietnam se disputan desde hace tiempo el grupo de islotes de Pescadores, que no tienen una gran importancia por ellos mismos, pero permiten a quien los posee explotar las considerables riquezas petrolíferas *offshore*. Conflictos de la misma naturaleza enfrentaron a Noruega y a la Unión Soviética en el mar de Barents, a la Unión Soviética y a Estados Unidos por Alaska, y así sucesivamente.

La Conferencia sobre el Derecho del Mar fue muy audaz al distribuir grandes partes de océano a las naciones que los reivindicaban de la manera más egoísta. Pero fue más bien tímida en lo relativo a las medidas a tomar contra el saqueo y la contaminación. El control de las fuentes perjudiciales que vienen de tierra firme por los ríos y los desagües, y que componen más del 90 por 100 de la contaminación marina, se dejó a la discreción de los países implicados. Ahora bien, todo el mundo sabe que la contaminación del agua, igual que la del aire, no entiende de fronteras.

La cuestión de alta mar no está mejor zanjada. Estados Unidos y los países más adelantados técnicamente (exceptuando algunos como Francia, que tiene declarados ideales tercermundistas) no quieren oír hablar de un eventual reparto de los nódulos de manganeso situados en el fondo.



Los estrechos y los canales. *Hace siglos que se planteó el problema de los estrechos. Fue necesario que los países se pusieran de acuerdo (a veces después de varias guerras) para garantizar la libre circulación de las flotas en los estrechos y en los grandes canales interoceánicos. Arriba: el canal de Suez. En la página de la derecha: una vista de la roca de Gibraltar. El mapa de al lado muestra los canales y los estrechos más importantes del mundo.*

1. Canal de Robeson: Canadá/Dinamarca
2. Estrecho de Juan de Fuca: Estados Unidos/Canadá
3. Canal de Martinica: Francia/Gran Bretaña
4. Canal de Dominica: Francia/Dominica
5. Estrecho de Auruba-Paraguana: Holanda/Venezuela
6. Canal de Santa Lucía: Francia/Gran Bretaña
7. Estrecho de Gibraltar: Marruecos/España
8. Bocas de Bonifacio: Francia/Italia
9. Paso de Calais: Francia/Gran Bretaña
10. Borholmsgat: Dinamarca/Suecia
11. Oresund: Dinamarca/Suecia
12. Golfo de Finlandia: Finlandia/Unión Soviética
13. Golfo de Botnia: Finlandia/Suecia
14. Bab el-Mandeb: Djibuti/Yemen
15. Estrecho de Ormuz: Irán/Omán
16. Estrecho de Palk: India/Sri Lanka
17. Estrecho de Malaca: Malasia/Indonesia
18. Estrecho de Ombai: Indonesia/Timor ex portugués
19. Estrecho de Corea: Japón/Corea del Sur
20. Estrecho de La Perouse: Japón/Unión Soviética
21. Estrecho de Nemuro: Japón/Unión Soviética
22. Estrecho de Bering: Unión Soviética/Estados Unidos
23. Canal de Suez (Egipto)
24. Canal de Panamá (Panamá)

El primero que invente las técnicas de recuperación debe obtener los beneficios, dicen los partidarios del liberalismo económico absoluto. Los países sin acceso al mar, aliados con los países pobres, desean, por el contrario, que la Alta Autoridad del Mar arregle de manera equitativa este reparto.

Estamos en este punto. Existen pocas posibilidades de que en los próximos años las posturas evolucionen.

El doctor Arvid Pardo, embajador de Malta, que fue el primero que lanzó en las Naciones Unidas, en 1967, la idea de una gran conferencia internacional sobre los derechos del mar, tiene razones para sentirse decepcionado.

«Era, dice él, una ocasión única para crear un derecho del mar equitativo y viable. Lo que ocurrió es posiblemente lógico. Era inevitable, teniendo en cuenta las condiciones políticas del mundo actual. Pero dudo que el trabajo de la Conferencia pueda arreglar la cuestión. Sólo podrá multiplicar los problemas y los conflictos. Es una pena.»

La Conferencia Internacional sobre el Derecho del Mar tiene el mérito de existir: los estados pueden plantear sus reivindicaciones y negociar sus contradictorias pretensiones. Pero, por el momento, no hay que engañarse: esta conferencia ha consagrado sobre todo la victoria de los intereses nacionales. La regla de las 200 millas tiene, desde este punto de vista, las consecuencias más asombrosas. Casi un tercio de la superficie marina se encuentra, por así decirlo, ligada a la tierra. Y se trata del tercio más rico, el más productivo, el que mejor se puede explotar inmediatamente... Ahí se encuentra lo esencial de las riquezas pesqueras, pues son zonas de gran productividad marina. Es ahí, asimismo, donde los yacimientos de minerales y de hidrocarburos son más abundantes y, lógicamente, también donde resultarán más rentables.

Las pequeñas islas situadas muy lejos de las costas continentales proporcionan a sus poseedores unos territorios marinos inmensos. El islote de Clipperton, por ejemplo, que se encuentra aproximadamente a 1000 kilómetros de la costa pacífica de México, y que sólo mide seis kilómetros de longitud, proporciona a Francia, que es la que lo posee, una superficie marina de más de 200.000 kilómetros cuadrados.

Según esta regla, países como Francia e Inglaterra, que poseen en todos los océanos del mundo numerosos restos de sus antiguos imperios coloniales, adquieren superficies considerable que les acercan a los más grandes estados del globo: Unión Soviética, Canadá, China, Estados Unidos, Brasil, Australia...



El control del fondo del mar

ESTADOS Unidos fue el primer país en percatarse de que en el fondo del mar existen considerables riquezas minerales. Los otros países tecnológicamente adelantados están recogiendo también informaciones sobre estas riquezas, y la Conferencia Internacional sobre el Derecho del Mar ha tenido que intervenir.

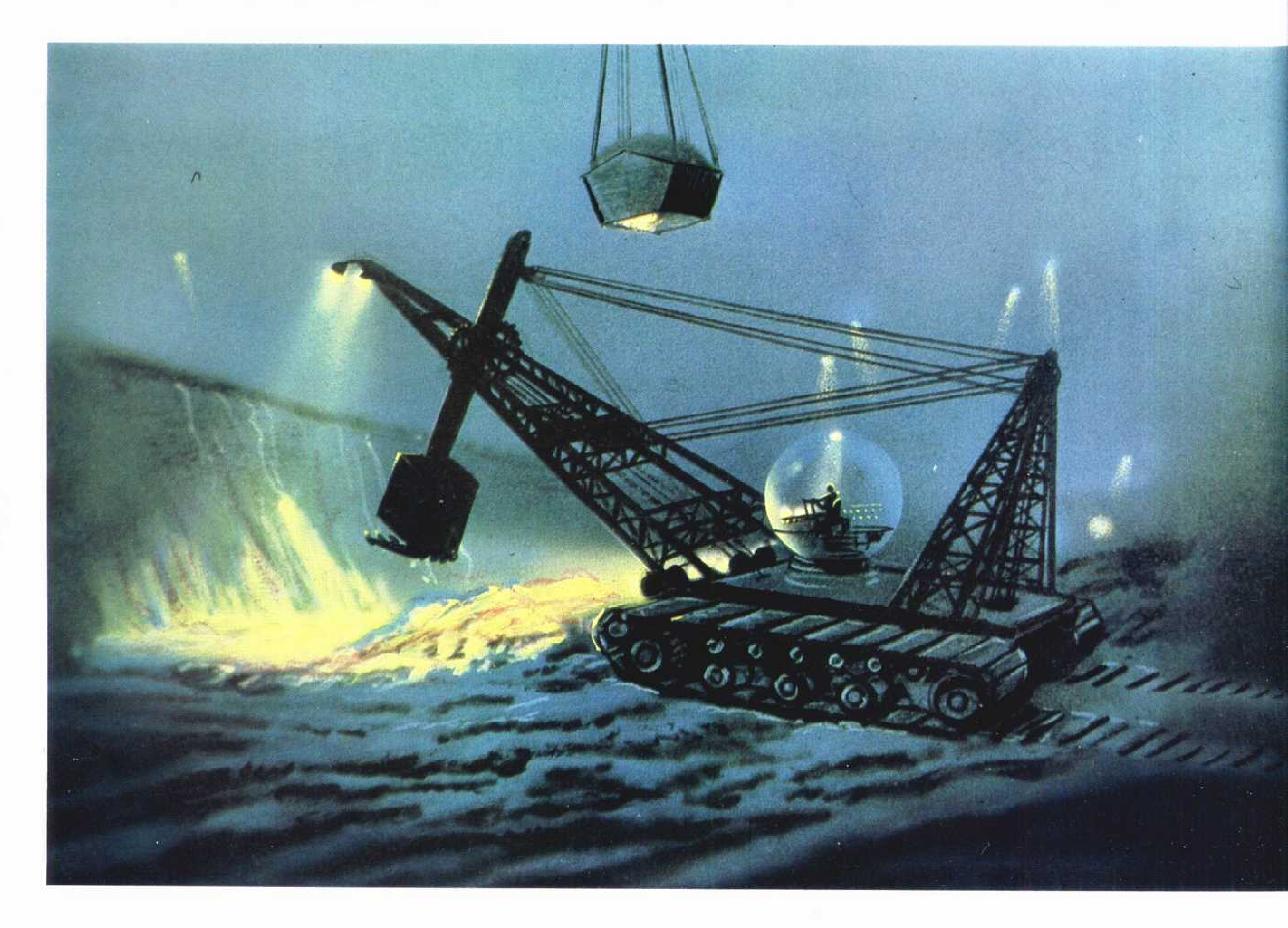
La comisión ha recibido varias proposiciones sobre el límite de las zonas de interés exclusivo económico. Algunos juristas han propuesto tomar como referencia la profundidad de 200 metros, y limitar ahí la zona en cuestión. Pero otros estados, como Perú, han protestado airadamente: su plataforma continental es en efecto muy corta; sin embargo, ellos obtienen lo principal de sus riquezas pesqueras de una zona situada a menos de 200 millas marinas de sus costas... Finalmente se han admitido dos principios: el de las 200 millas marinas (puramente geográfico), y el de la existencia de una plataforma continental, más geológico. La mayoría de los estados miembros de la Conferencia, es decir, 135 de 158, ha aprobado la regla de las 200 millas. En el caso de que la plataforma continental sea mayor que esas 200 millas, el límite se ha llevado a un máximo de 350 millas. Pero algunos países dotados de inmensas plataformas continentales, como Canadá y la Unión Soviética, cuyas tierras se prolongan muy lejos hacia el océano glaciar Artico, han lanzado la idea de que la totalidad de la plataforma continental, cualesquiera que sean sus dimensiones, podría pertenecer, económicamente hablando, al país costero.

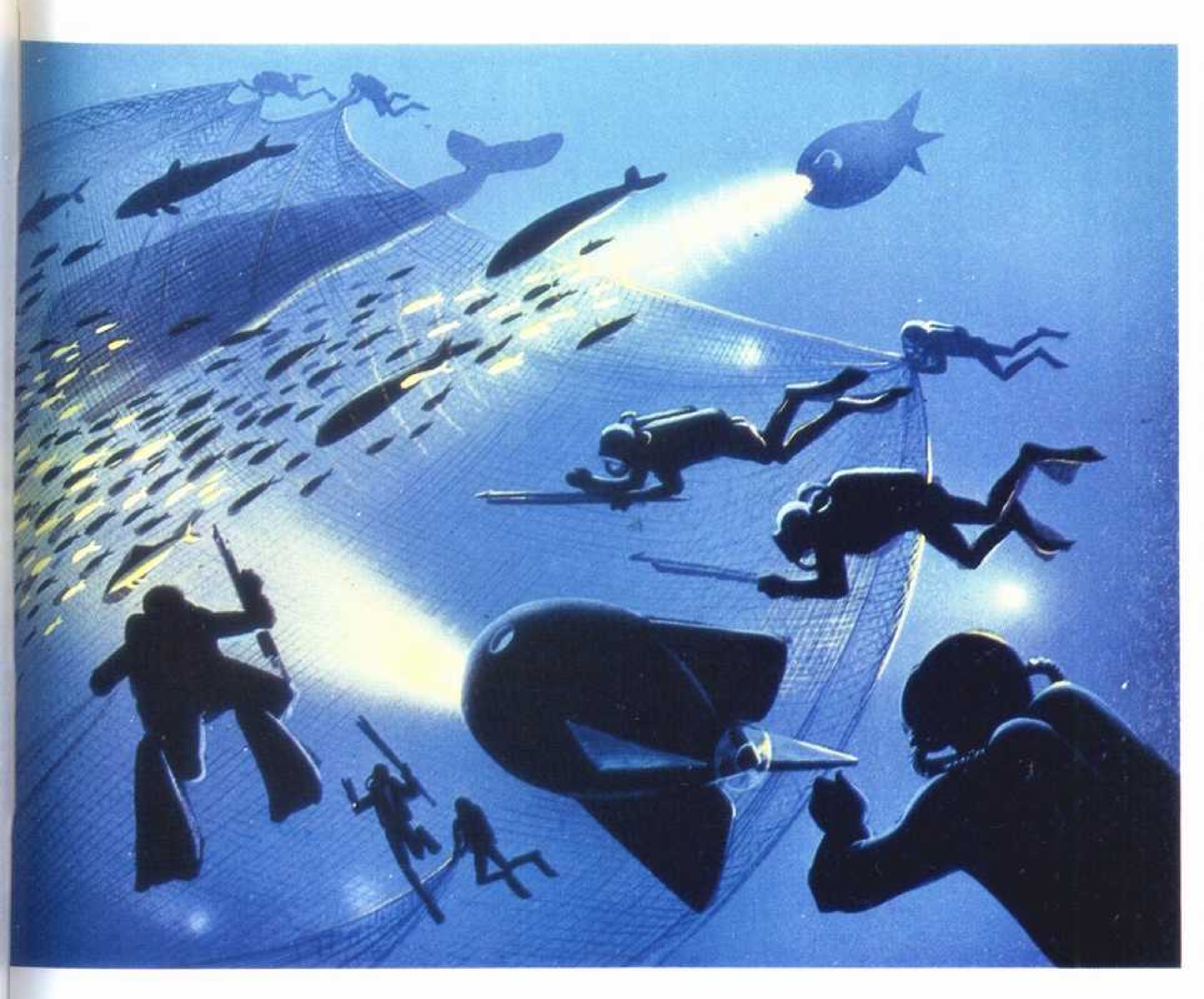
Más allá de la plataforma continental y de la zona de 200 millas, por el momento, el mar es libre. Cualquiera que se presente puede explotar las riquezas de la pesca y tomar minerales del fondo. El problema reside sobre todo en los nódulos de manganeso. Estas rocas son muy ricas en diferentes metales, como manganeso, hierro, cobre, zinc, níquel, cobalto, etc.; algunos de ellos son estratégicos, e interesan a los países tecnológicamente desarrollados (Estados Unidos, Japón, Francia, Alemania), que han puesto a punto eficaces sistemas de dragado. La explotación de los nódulos polimetálicos debería ser, según la Conferencia sobre el Derecho del Mar, ventajosa para el conjunto de la humanidad. Pero Estados Unidos, fiel a sus principios de liberalismo económico, no quiere oír hablar de ese reparto, ni menos aún de las transferencias de tecnología que llevaría consigo. Según ellos, estas riquezas son para el primero que las explote... La divergencia de las tesis parece insuperable.

Los objetivos de la Conferencia en la materia no estaban originalmente desprovistos de generosidad. Estaba previsto que la Autoridad Internacional designada para controlar el lecho del mar estuviese formada por un consejo, una asamblea, un secretariado y un cuerpo operacional denominado «empresa». Esta autoridad tendría el poder de conceder a compañías privadas o estatales el derecho para la explotación del suelo del océano y el derecho para realizar estas operaciones en beneficio de las naciones poco industrializadas. Las compañías privadas podrían haber elegido dos lugares de dragado, explotar uno para ellas mismas, y dejar el otro a la empresa, pagando *royalties* sobre la producción del mineral.

Las naciones que más temen, y es razonable, la explotación de los nódulos polimetálicos son aquellas cuyos recursos consisten principalmente en minerales metálicos, como Zambia y Chile (cobre), Malasia (estaño), Indonesia (níquel), Zaire, Zimbabwe, etc. Temiendo que la recuperación de las reservas minerales del fondo del mar pongan en peligro su economía, a menudo muy frágil, estas naciones están interesadas en crear un control internacional de los fondos marinos. Además, Estados Unidos y los países que le siguen no disimulan que la mayor ventaja de estas riquezas oceánicas es el tener acceso libre para su explotación.

Pero el fondo del mar posee un interés





El hombre en el fondo del mar. *Las ilustraciones de esta doble página muestran cómo el suelo oceánico puede convertirse, en un futuro próximo, en una zona de explotaciones mineras (página anterior), piscícolas (arriba) o también en un lugar de colonizaciones sistemáticas (abajo) y hasta militares, si no se toman las debidas precauciones.*

estratégico todavía más inmediato. Las grandes potencias desarrollan desde hace años flotas de submarinos (sobre todo nucleares) extremadamente potentes y numerosas. Por el momento, una especie de consenso aceptado por los «dos grandes» permite un equilibrio en los lanzamientos.

Por fortuna, todavía no hemos llegado a la lógica fase siguiente de esta escalada: el establecimiento de permanentes bases de ataque submarinas, verdaderos campos militares sumergidos.

No faltan estudios en este terreno, tanto del lado capitalista como del lado comunista. Pero las discusiones encuadradas en las diferentes conferencias de desarme han conseguido que ambas partes sean más prudentes.

Nada garantiza que esta moderación sea duradera. Si las potencias empiezan a construir estas bases submarinas tan temidas, la escalada se produciría probablemente con gran rapidez y el peligro sería inmenso.

En efecto, estas bases servirían de parada a los submarinos nucleares lanzadores de misiles, y podrían igualmente almacenar cohetes con cabezas nucleares múltiples, siendo muy poco vulnerables.

El adversario no pararía hasta poseer más que el otro. Sabemos a dónde conduce esta lógica.

Los derechos de la ciencia

Es esencial que las riquezas del mar sean para toda la humanidad. Los principios defendidos por las Naciones Unidas sobre este punto son fundamentales. El mar no aportará a los hombres, como se creía en un momento dado, todo lo que les falta para ser felices: energía inagotable, alimento a voluntad, un lugar para los sueños y los ratos de ocio... No. Las riquezas del océano, en todos los terrenos, son limitadas, y esa es la razón por la que deben ser explotadas con parsimonia, equidad y sentido común.

Una de las condiciones esenciales para que este reparto se realice algún día es que, a pesar de las divergencias actuales, las investigaciones científicas puedan continuar, y que las naciones no pongan ningún obstáculo, aunque se realicen dentro de sus aguas.

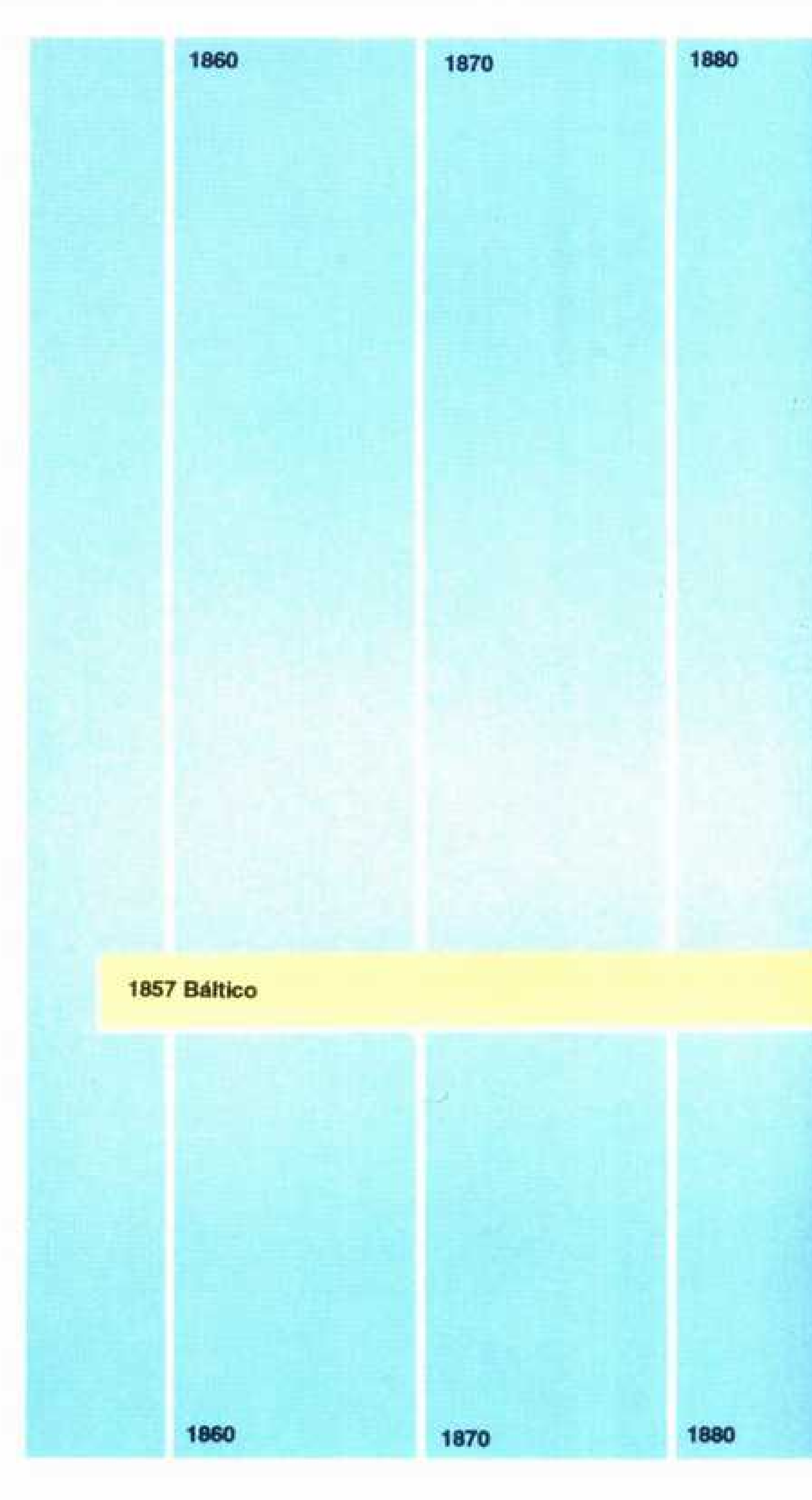
Las naciones no ven, por lo general, con buenos ojos que científicos extranjeros investiguen en sus mares costeros. Temen el espionaje militar, pero sobre todo, en la hora actual, saben que el hecho de conocer ciertas informaciones (el acceso a los datos) es un arma esencial de las grandes potencias. Esta es la razón por la que no puede existir una investigación internacional si no hay una perfecta transparencia de los resultados logrados por los equipos científicos. Para que un país conceda el permiso a un equipo de investigadores de otro país para explorar sus aguas, es necesario que los datos obtenidos se repartan entre los dos. En caso contrario, es muy raro que se produzca un acuerdo.

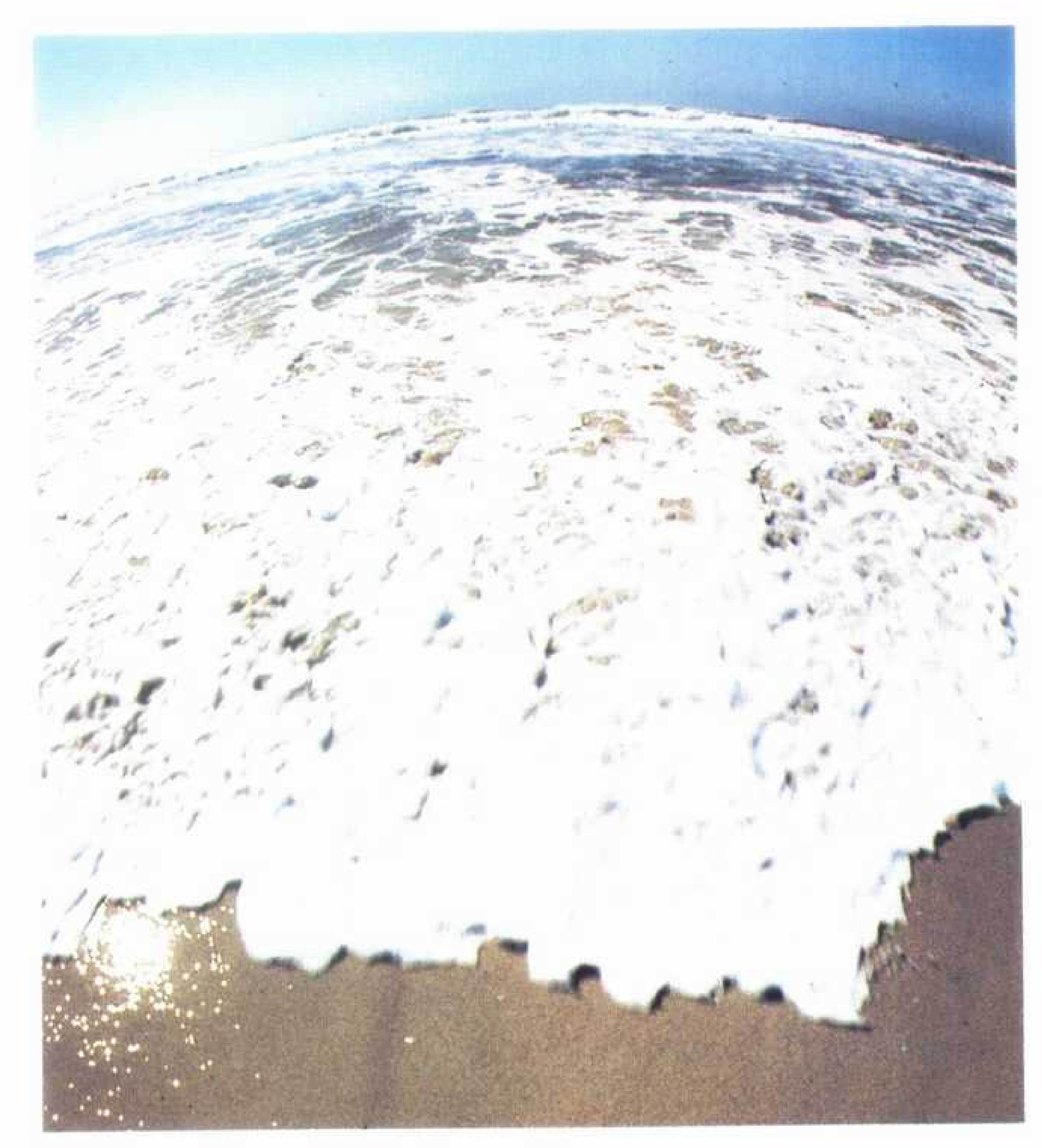
Aunque en la realidad la cooperación se produzca siempre con tiranteces, parece ser que por lo menos estos principios han sido admitidos en las diferentes sesiones de la Conferencia Internacional sobre el Derecho del Mar.

Los países han acordado reconocer la importancia de la investigación científica, y que esta investigación, necesariamente mundial, dé lugar a publicaciones accesibles para todos.

Las diversas disciplinas oceanográficas están todas implicadas en estos acuerdos de principio y algunas ya se han beneficiado de ello. Los terrenos más teóricos son los que más fácilmente obtienen la colaboración internacional.

De este modo se han hecho progresos en oceanografía física (estudio de las grandes corrientes, por ejemplo), en oceanografía química (composición del agua de mar, variaciones de salinidad) o en geo-





Historia de los acuerdos internacionales. *Bajo la protección de las Naciones Unidas (izquierda) se discutieron la mayoría de los puntos en litigio entre los estados, relacionados con el control y la explotación de los océanos. Los 158 participantes en la Conferencia Internacional sobre el Derecho del Mar consiguieron ponerse de acuerdo sobre un cierto número de principios y de reglamentaciones locales. Pero los egoísmos ganaron. Las tablas de esta doble página, abajo, resumen algunos de los puntos en los que se ha logrado un acuerdo internacional.*

logía de los fondos: en este último sector de la investigación, las empresas franco-americanas, como la misión FAMOUS encima de la dorsal medio-atlántica, pueden servir de modelo.
Los países y los organismos de investigación son más reticentes a trabajar con el extranjero, y a comunicar sus resultados, cuando se trata de avanzar en el conocimiento de la topografía submarina (que algunos pueden considerar como un importante secreto militar), o en el terreno de la evaluación de las riquezas de la pesca (la competencia para la explotación de los bancos de peces o de otros recursos biológicos es muy tenaz).
Cuando se insinúa la posibilidad de investigaciones internacionales en los terrenos más «sensibles» (como, por ejemplo, petróleo, gas natural, nódulos polimetalúrgicos...), entonces las bocas y los monederos se cierran.
El espíritu internacionalista de los hombres, aunque lo lamentemos, no está todavía desarrollado hasta el punto de admitir el reparto solidario de las riquezas más «jugosas» con los que no tienen nada.
En el terreno de la cooperación internacional, hay que darse cuenta que no tenemos casi medios para obligar a una nación a respetar una ley votada por la mayoría. Si este país se llama Estados Unidos, Unión Soviética, Japón, o bien se trata de la CEE, no hará caso a nadie. La Comisión Ballenera Internacional promulga recomendaciones y fija las cuotas de captura de diferentes especies de cetáceos. Pero no tiene ningún medio para hacer respetar sus recomendaciones a países como la Unión Soviética o el Japón, que las violan frecuentemente. Ocurriría exactamente lo mismo aunque existiera una comisión internacional para los nódulos.
A la vista de esto, no podemos confiar en los estados para que ejerzan un control sobre las actividades realizadas bajo su jurisdicción.
Pero precisamente la única solución es confiar en ellos. Este es el drama general que tiene planteado el derecho del mar, que no termina por estar en el orden del día.

1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980

DIVERSOS
1957 Protección de los leones marinos del Pacífico norte
1961 Barcos rompehielos en el mar Báltico
1962 Protección de algunas ballenas antárticas
1965 Reglamentación de la banda de frecuencias de radio
1972 Protección de leones marinos antárticos
1973 Protección de osos del Artico

INVESTIGACIONES
1902 Nordeste del Atlántico
1919 Mediterráneo
1956 Pacífico Occidental

LIMITES
1945 Declaración Truman;
Chile, Ecuador, Perú: 12 millas
1964 Europa occidental
zona de pesca exclusiva
de 12 millas
1958 Zona contigua
1977 Zona de interés
económico
exclusivo: 200 millas

PESCA
1946 Nordeste del Altántico
1949 Noreste del Atlántico
1949 Mediterráneo
1949 Pacífico oriental: atún
1952 Pacífico meridional
1952 Pacífico norte
1959 Mar Negro, nordeste del Atlántico
1962 Báltico: salmón
1962 Sudoeste del Atlántico
1967 Oceáno Indico
1967 Atlántico Sur
1969 Sudeste del Atlántico
1973 Báltico, Nordeste del Atlántico

NAVEGACION
1936 Mediterráneo

CONTAMINACION
1969 Nordeste del Atlántico
1972 Báltico
1972 Noroeste del Atlántico
1974 Nordeste del Atlántico
1976 Mediterráneo

DESARME
1963 Tratado de prohibición parcial
de ensayos nucleares
1971 Prohibición de la utilización de los
fondos marinos como bases militares

1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980

La vigilancia de los mares

El aumento del tráfico marítimo ha ocasionado la multiplicación de los accidentes, las colisiones entre navíos, las encalladuras, etc. Todos estos naufragios provocan pérdidas para los armadores, y es indispensable que se acepten una serie de reglas internacionales por la mayoría de los estados para que los pleitos se solucionen y los responsables sean eventualmente perseguidos.

Pero los desperfectos en los barcos están muy lejos de constituir lo esencial del problema. Los problemas de dinero acaban siempre por arreglarse. Más graves son los daños causados al medio ambiente, que pueden ser considerables. Todo el mundo tiene en la memoria las grandes mareas negras que enlutaron las costas de Bretaña (las del *Torrey-Cayon,* del *Gino,* del *Tanio,* del *Olympic-Bravery,* del *Amoco-Cádiz,* etc.). Estas catástrofes, a menudo producidas por errores humanos, por imprevistos o por el afán de lucro de los armadores, alcanzan enormes porciones de ecosistemas marinos, entre los más ricos y los más productivos. Es prioritario evitarlas: Bretaña, por ejemplo, no soportaría indefinidamente las mareas negras, que han diezmado sobre todo las poblaciones de aves marinas (alcas, araos, frailecillos, cormoranes): si las manchas de mazut siguen ensuciando las costas de la región desaparecerán muchas otras especies.

Existen leyes internacionales que rigen la navegación comercial. Además, los modernos instrumentos de navegación (radares, boyas trasmisoras, satélites artificiales, MARECS, etc.) deberían permitir una gran seguridad y evitar la mayoría de los dramas. Por supuesto, no se podrá garantizar al 100 por 100 la seguridad en el mar, ni evitar los azares de la navegación, las tempestades, los huracanes, o los maremotos, que serán siempre —como, por otra parte, ocurre en tierra firme con la acción devastadora en ocasiones de los meteoros— imprevisibles.

Pero se puede mejorar bastante la situación. En los pasos más reducidos (los estrechos como el de Calais o el de Ouessant) se han establecido desde hace algunos años unos pasillos para la navegación que han ordenado un poco el tráfico, aunque al principio muchos navíos no los respetaban.

Pero las autoridades navales recibieron la orden de obligar a los capitanes a tomar la nueva ruta: se ha podido constatar que, aunque quedan algunos infractores, la mayoría de los barcos respetan su «raíl». Todos han ganado en seguridad.





Se han creado organismos internacionales encargados de definir las reglas de la navegación y de que estas reglas sean admitidas por las autoridades navales, los armadores y los capitanes de todos los países. La Organización de consulta marítima internacional de las Naciones Unidas, por ejemplo, trabaja especialmente con los grupos encargados de la protección del medio ambiente. Conferencias como «MARPOL 73» se han llevado a cabo con el objetivo de prevenir la contaminación debida a los navíos. La Convención para la Seguridad de la Vida en el Mar («SOLAS 74») tiene unos objetivos parecidos. El aumento general del tráfico marítimo y el crecimiento de tamaño de los barcos hacen indispensables y urgentes estas discusiones internacionales.
Uno de los problemas más importantes es la mayoría en barcos bajo bandera de conveniencia.
Si no queremos que se repitan catástrofes como la del *Amoco-Cádiz,* los estados tendrán que ponerse urgentemente de acuerdo y tratar sobre las bases siguientes:
— Ningún barco debería jamás navegar bajo una bandera que no sea la de su verdadero propietario; si éste es una sociedad anónima, especialmente una multinacional, se tendrá en cuenta al principal accionista.
— Todos los reglamentos actuales sobre la seguridad marítima, a pesar de las recientes mejoras, son insuficientes. Han de ser revisados relacionándolos con los de la seguridad aérea, que tienen demostrada su utilidad.
En primer lugar se debe poner en funcionamiento un eficaz sistema de seguimiento en tierra, utilizando los satélites artificiales de forma similar al seguimiento de los aviones. Cuando una estación terminara de guiar al buque en su zona de control, se lo confiaría a la estación siguiente. Las órdenes de tierra son obligatorias y de inmediata ejecución.
En segundo lugar, a bordo de cada buque (por lo menos en los que van al astillero) se deberá adaptar un sistema de doble mando, como los existentes en los aviones (doble transmisión, doble hélice, doble timón).
En tercer lugar, se exigirá que la tripulación a bordo sea suficiente, y especialmente será obligatoria la presencia en cubierta de dos oficiales cualificados, un piloto y un copiloto, este último en contacto con tierra por medio de la radio para recibir las órdenes.



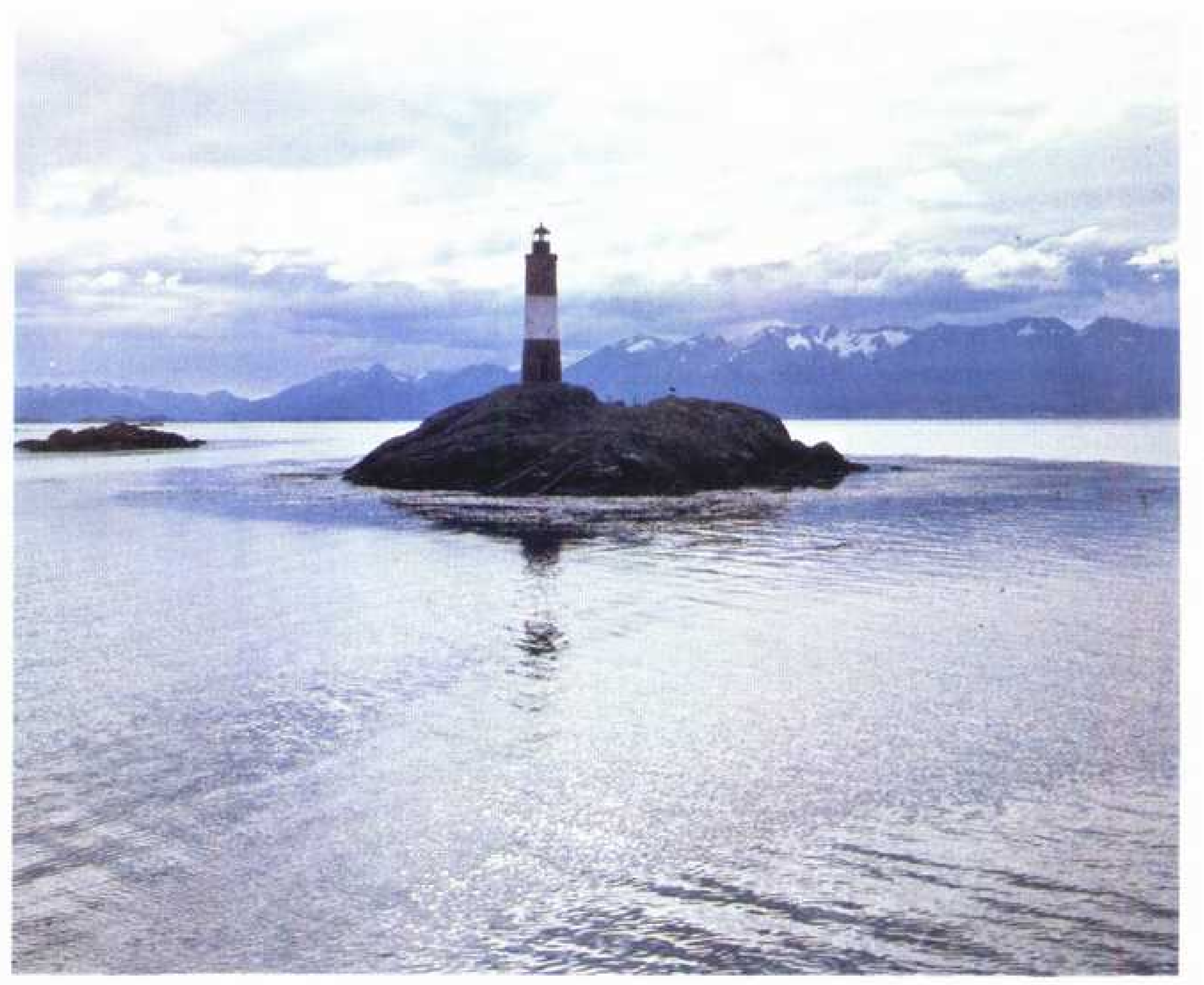
Las reglas de la navegación. *Cada año, y en todo el mundo, los accidentes llevan el luto a centenares de familias de marinos. Es necesario garantizar imperiosamente la seguridad de las gentes del mar. Las reglas de la navegación deben ser más rigurosas para impedir que naveguen viejas latas fletadas de saldo. Las cargas de los buques que naufragan se extienden por las olas. Frecuentemente se trata de productos tóxicos o contaminantes. Estas catástrofes no sólo alcanzan a los marinos, sino que el medio ambiente es severamente degradado. Recientemente se ha reforzado la legislación en esta materia, sobre todo para los buques que transportan petróleo o materiales perjudiciales para el medio ambiente. Esto no es todavía suficiente: se necesitaría equiparar las reglas de la navegación marítima con las de la navegación aérea, que ya han demostrado su utilidad. Arriba: los restos del* Pioneer II. *Derecha: un barco desencallado en el momento de ser remolcado.*

el de las banderas de conveniencia. Para un armador privado, la elección de una de estas banderas (de Panamá, Liberia, Chipre, las Maldivas, etc.) presenta dos ventajas principales: le permite escapar de los impuestos, de las cargas sociales en vigor en los países desarrollados, y le reduce sensiblemente los gastos de explotación del barco. El propietario, al no estar sometido a ninguna reglamentación, control o carga social, se comporta si lo desea como un negrero. La cualificación de la tripulación es prácticamente nula. Nos encontramos con marineros con salarios bajos, sin ninguna experiencia; algunos es la primera vez que ven un barco, y capitanes con trayectorias profesionales dudosas; algunos hasta han comprado su diploma. Las tres cuartas partes de los accidentes relacionados con barcos comerciales son debidos a errores humanos;

Faros para nuestra acción

DESDE hace algún tiempo sabemos que los progresos de la ciencia, de la tecnología, del comercio y de la industria presentan también aspectos negativos. El saqueo y la contaminación amenazan a los ecosistemas en su conjunto, y particularmente a los del mar. Hasta aquí hemos citado los diversos aspectos del derecho del mar, pero sólo considerando a los hombres de nuestro tiempo. Sin embargo, no debemos olvidarnos de las generaciones futuras.
Necesitamos resolver los grandes problemas ecológicos que se plantean, no solamente para nuestra supervivencia y bienestar, sino también para la supervivencia y bienestar de las generaciones venideras. No puede haber un derecho del mar si éste no tiene en cuenta los derechos fundamentales de las generaciones futuras.
Carecemos de cualquier fuerza moral para hacer pagar a nuestros hijos el precio de nuestro egoísmo. Y no se debería correr ningún riesgo que produzca daños irreparables en nuestro medio ambiente. La salud del sistema acuático mundial es una condición indispensable para la continuidad de la vida en el planeta. Las futuras necesidades de la comunidad humana no podrán ser satisfechas salvo que abandonemos nuestro espíritu de cálculo a corto plazo, nuestros estrechos intereses regionales o nacionales, nuestra indiferencia por las consecuencias de nuestros actos. Debemos actuar mejor, prever mejor, administrar mejor nuestras fuentes.
La Fundación Cousteau ha elaborado con ese espíritu su Proyecto de Declaración de Derechos de las Generaciones Futuras. Es para ella el verdadero faro, y desea que también lo sea para un numeroso grupo de hombres, simples ciudadanos o gentes con responsabilidad. Este documento ha sido propuesto para su adopción a la Asamblea de las Naciones Unidas. Es en gran parte la obra de tres miembros de la mesa directiva de la Fundación Cousteau: los doctores Gabriel G. Nahas y Allen Farnsworth, de la Universidad de Columbia (Nueva York), y H. Stanley Thayer, del City College de Nueva York.
Declaración de Derechos de las Generaciones Futuras:
Artículo 1. Las generaciones futuras tienen derecho a una tierra indemne sin contaminar y a su disfrute, pues ello es la base de la historia del hombre, de la cultura y de las relaciones sociales que convierten a cada individuo y a cada generación en miembros de la humanidad.
Artículo 2. Cada generación depende de los bienes y del patrimonio territorial. Como responsable de las generaciones futuras tiene el deber de impedir cualquier






Los faros. *Igual que los barcos se guían por las señales de los faros para encontrar su ruta por la noche, los defensores del medio ambiente y de la calidad de vida deben tener una perfecta orientación en todas sus acciones. Este faro puede ser el texto que la Fundación Cousteau ha elaborado y presentado a la Asamblea General de las Naciones Unidas: la Declaración de Derechos de las Generaciones Futuras. En esta página, de arriba abajo: el faro de la isla de Texel, en los Países Bajos; el del canal de Beagle, en Tierra del Fuego, y el de San Sebastián, en España. Página de la derecha: la Linterna de Gênes.*





atentado irreparable e irreversible contra la vida en la Tierra y contra la dignidad y libertad del hombre.

Artículo 3. Por consiguiente, para preservar los derechos de las generaciones futuras, el deber supremo de cada generación es asegurar la continua vigilancia de la evolución y transformación de las tecnologías, las que por su naturaleza podrían perjudicar la vida sobre la Tierra, el equilibrio natural o el desarrollo armónico del género humano.

Artículo 4. Todos los medios necesarios, como la enseñanza, la investigación y la legislación, deberán ser utilizados con el fin de garantizar estos derechos y asegurar que no se sacrificarán frente al interés personal o al oportunismo.

Artículo 5. Los gobiernos, las organizaciones no gubernamentales y los individuos son llamados insistentemente desde ahora, con el fin de aplicar estos principios, como si estuvieran desde ya frente a las generaciones venideras, para las cuales ellos son los principales responsables.


Fundación Cousteau

REFERENCIAS FOTOGRÁFICAS

Abeille. Acqua Chem Water Technologies Division. Paolo Arata. Fiorella Bertini. Alberto Bertoldi. Bevilacqua, Milan. Bibliothêque du Monastère de L'Escorial. Bibliothêque Nationale, Lisbonne. Bibliothêque Nationale, Paris. Bibliothêque Universitaire, Bologne. Bodleian Library, Oxford. British Museum. British Museum/Photo Bertoldi. Caisse Nationale des Monuments Historiques, Paris. Campecci. Bianca Maria Cita. City Art Gallery Bristol. Civico Museo Navale, Pegli. Canada Center of Inland Waters, Royal Ontario Museum, And Klein Associates. Giorgio D'Andrea, Milan. De Beers Industrial Diamond Division. Deepsea Ventures, Inc. Gloucester Point, Virginie. Deutsches Museum, Munich. Sirmon Dimt. Harold E. Edgerton. Eni. Facchini/Pirelli S.PA. Rhodes W. Fairbridge. Farabola. Don Frey. Il Gabbiano. Fausto Giaccone/Marka. Heritage-Orizon. Thor Heyerdahl. Historisk Museum Bergen, Norvège/Photo A. Bertoldi. Institut Hydrographique de la Mer, Paris. Don Keith. Lamont-Doherty. Library of Congress, Washington D.C. Lockheed. Lucia Maldacea. Mariners Museum, New Port News. Umberto Marzani/Fabbri. Master. Mario Matteucci/Fabbri. Melegari. Musée Guimet, Paris. Musées Et Galeries Pontificaux, Le Vatican. Musée Archéologique, Aquilée. Musée Archéologique, Héraklion. Musée Archeólogique du Palais Royal, Venise. Musée Archéologique National Athénes. Musée Archéologique National, Beyrouth. Musée Archéologique National, Tarante. Musée Archéologique Prenestino, Palestrina. Musée Borély, Marseille. Musée D'Art Antique, Lisbonne. Musée de la Civilisation Romaine, Rome. Musée de la France d'Outre-Mer. Musée de la Marine, Paris. Musée des Sciences et des Techniques, Milan. Musée des Bateaux Vikings, Oslo. Musée du Louvre. Musée de l'Homme, Paris. Musée Egyptien, Le Caire. Musée National du Danemark. Musée National, Naples. Musée National, Tokyo. Musée Pigorini, Rome. Musée Rhénan, Treves. Musée Historique Naval, Venise. Musée Historique, Berne. Museum Voorland en Volkenkunde, Rotterdam. Musée National des Antiquités, Stockholm/Photo Bertoldi. N. Myers/Bruce Coleman Inc. Nasa. The National Maritime Museum, Greenwich. National Palace Museum, Taipei, Taiwan, République de Chine. National Gallery, Londres. Naval Photographic Center, Washington D.C. Nederlandsfh Historisch Scheepvaart Museum, Amsterdam. Nelson Gallery, Atkins Museum, Kansas City. Grazia Neri. The Carlsberg Glypotetk, Copenhague. Overseas. Daniele Pellegrini. Lino Pellegrini. Alain Perceval. Michele Peroglio Deiro. A. Potzolu. Publiaerfoto. Folco Quilici. Angelo Regaldi/Sef. Rijkmuseum, Amsterdam. Rijksmuseum Voor Volkenkunde. Aldo Rizzi/Fabbri. Rome, Le Vatican, Salle Royale. Saipem. Seacroft Hillside, Sheringaham Norfolk. Sep, Turin. Scripps Institution of Oceanography. Sir S.p.A. Statens Sjöhistoriska Museum, Wasavarvet, Stockholm. Stedelijk Museum, Amsterdam. M. Pia Stradella. Studio B. Peter Throck-Morton/Nancy Palmer Agency. Titus. University of Pennsylvania Museum, Philadelphie. U. S. Geological Survey. Romano Vada/Fabbri. Riccardo Villarosa/Overseas. Victoria and Albert Museum. Woodes Hole Oceanography Inst., Woods Holle, Ma, Usa.

ILUSTRADORES

Flavio Bassani. Michele Bernardi. Piero Cattaneo. Andrea Corbella. Antonio de Robertis. Diagram. Michelangelo Miani. Lorenzo Orlandi. Piero Pieroni. Riccardo Gatteschi. Procraf S.N.C. Angelo Ricci. Fernando Russo. Mario Russo. Tiger Tateishi. Triagono Illustrazioni. Masayoshi Yamamoto. US Department Energy.



18

ENCICLOPEDIA DEL MAR

folio